



Läpimenoaika ja sen lyhentäminen tuotannossa

Venla Hyytinen

OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2019

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

HYYTINEN, VENLA:

Läpimenoaika ja sen lyhentäminen tuotannossa

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Lokakuu 2019

Opinnäytetyössä selvitettiin Tasowheel Tikka Oy:n liitinkappale-nimikeryhmän läpimenoaikaa tuotannossa. Työn avulla saatiin selkeä kokonaiskuva valmistusprosessista, selvitettiin ongelmakohtia ja pullonkauloja ja etsittiin niihin kehitysehdotuksia. Kaikki liitinkappaleet ovat pienivolyymisiä ja haastavia, ja niiden valmistus sisältää lukuisia työvaiheita. Työ toteutettiin selvittämällä eri työvaiheiden läpimenoaikoja toimeksiantajayrityksellä käytössä olevan tietojärjestelmän avulla ja lopuksi haastatteleamalla liitinkappaleiden valmistusprosessiin osallistuvia työntekijöitä.

Läpimenoaikatutkimuksessa selvisi, että työn kriittisimmät pullonkaulat läpimennon kannalta olivat kappaleen sisäosiin tehtävä AFM-hiontaprosessi sekä viimeistelyjyrsintä. Haastattelujen perusteella AFM-prosessi koettiin jo itsessään olevan hidas menetelmä, minkä lisäksi osaaminen ei ollut toivotulla tasolla. Syyksi viimeistelyjyrsinnän huonoon läpimenoon ilmeni riittämätön konekapasiteetti, mutta lisäksi työvaiheessa oli teknisiä haasteita.

Kehitysehdotuksia työvaiheiden sujuvoittamiseksi tuli useita. Vasta hankitun, uuden AFM-koneen uskottiin purkavan työvaiheen ylikuormituksen. Lisäksi kyseisen menetelmän hallintaa ja osaamista haluttiin vahvistaa esimerkiksi jatkamalla tiivistä yhteistyötä koneen toimittajan kanssa. Liitinkappaleiden viimeistelyjyrsintää voitaisiin hajauttaa useammalle koneelle, jotta koneiden kapasiteetti olisi joustavasti käytössä. Jyrsinnän teknisiä haasteita tulisi edelleen kehittää laadun- tuottokyvyn nostamiseksi, tähtäimessä mahdollinen automaattiajo. Opinnäytetyön myötä toimeksiantajayrityksellä on käytössään analyysi liitinkappaleiden läpimenoajasta ja sen kriittisimmistä vaiheista. Yritys voi hyödyntää työn tarjoamia kehitysehdotuksia läpimeno-prosessin kehittämiseen tulevaisuudessa.

Asiasanat: läpimenoaika, odotusaika, tuotannonsuunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

HYYTINEN, VENLA:
Lead Time and Reduction of Manufacturing Lead Time

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 5 pages
October 2019

This thesis was done by commission of Tasowheel Tikka Oy. The company produces a selection of connection pieces that are classified as an individual item group in the company. The quality requirements are high and the run throughput time is long. These items are manufactured for a contract-customer and the volumes are only a few items per model a year.

There have been many technical difficulties in the manufacturing process. The purpose of thesis was to study the whole throughput process and find the bottlenecks. The aim was to propose decisions to solve the problems causing poor throughput time.

The database of the company was accessible for collection of data on the connection pieces' historical data, and the detected throughput time was based on that information. Found hot spots were analyzed more precisely by interviewing employees related in manufacturing connection pieces.

In the study, two of the most critical bottlenecks were found: first, abrading of inner shapes using abrasive flow machining method (AFM) and second, finish milling. The AFM-process is a slow method already in itself, but however, there was also much to develop: the control and knowledge of the process was not at the desired level. In the finish milling, the greatest problem was insufficient capacity but technical difficulties also had an effect on the outcome.

A newly purchased AFM machine will surely raise up the throughput of AFM-cell. In addition, cooperation with the machine supplier should be intensified and the company should collect all the available information to develop the control of process. The finish milling could instead be spread over several machines instead of one. Also, technical development of the method should be continued aiming for automatic machining. With this thesis, the company can focus its resources on the right places and keep on developing its lead time processes.

Key words: lead time, throughput time, lost time, production planning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN TAUSTAT	7
	2.1 Tasowheel Tikka Oy	7
	2.2 Tuotannon ohjaus Tasowheel Tikassa	8
	2.3 Tutkimusongelma	9
3	LÄPIMENOAIKA	11
	3.1 Läpimenoajan määritelmä ja taustat	11
	3.2 Lyhyen läpimenoajan hyödyllisyys	13
	3.3 Läpimenoajan lyhentäminen	14
	3.4 Tutkimusmenetelmät	17
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	19
	4.1 Työn eteneminen	19
	4.2 Resurssit	19
	4.3 Tietokantatutkimuksen toteutus	20
	4.4 Haastattelun toteutus	21
5	TULOKSET	24
	5.1 Tietokantatutkimus	24
	5.1.1 Menekki: historia ja ennusteet	24
	5.1.2 Läpimenoprosessi	26
	5.1.3 Odotusaika	28
	5.2 Haastattelut	29
6	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	33
	6.1 Tulosten yhteenveto	33
	6.2 Kehitysehdotukset	33
	6.3 Pohdinta	36
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	40
	Liite 1. Yhteenvedot haastatteluista	40

LYHENTEET JA TERMIT

ERP	Enterprise Resource Planning (toiminnanohjausjärjestelmä)
MRP	Material Requirements Planning (tuotannonohjausjärjestelmä)
AFM	Abrasive Flow Machining -työstömenetelmä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään tuotannon läpimenoaikaa, jota myös läpäisyajaksi kutsutaan. Melkein missä tahansa yrityksessä läpimenoaikaa pyritään lyhentämään mahdollisimman lyhyeksi, sillä sen hyödyt yritykselle ovat moninaiset. Myynti pystyy lupaamaan asiakkaille lyhyempiä toimitusaikoja ja yritys pärjää paremmin kilpailevilla markkinoilla. Läpimenoajan lyhentäminen tarkoittaa yleensä tuotantoprosessien yksinkertaistamista, mikä taas oikein toteutettuna poistaa tuottamatonta aikaa sekä virheiden mahdollisuutta. Voidaan siis sanoa, että läpimenoajan lyhentäminen nykyajan kvartaalitaloudessa on oleellinen kilpailuvaltti, erityisesti kalliimman työvoiman maissa.

Opinnäytetyö toteutettiin keskisuomalaiseen pk-yritykseen nimeltä Tasowheel Tikka Oy. Yrityksen asiakkaat löytyvät pääosin meri- ja kaivosteollisuudesta, jonne Tasowheel Tikka toimittaa muun muassa erilaisia hydraulikkiaan, voimansiirtoon ja polttoainejärjestelmiin liittyviä koneenosia. Tasowheel Tikassa valmistettavia nimikkeitä on valtava määrä, ja tuotantoerät ovat usein pieniä. Volyymituotteiden osalta tuotannon hallinta on helpompaa, sillä niillä on usein vakaampi menekki, ja yksittäisen volyymituotteen tai -kokoonpanon tuotantoprosessin viritäminen huippuunsa on järkevää. Tuotevalikoimasta löytyy kuitenkin näitä enemmän vaikeita, pienemmällä volyyymillä ja pitkällä valmistusajoilla olevia tuotteita, joiden tuotannon hallitseminen on vaikeaa.

Opinnäytetyössä keskitytään erääseen nimikeryhmään, jossa tuotteet ovat hyvin samankaltaisia. Myyntierät vaihtelevat yhdestä kappaleesta kymmeneen, valmistus kohtaa miltei jatkuvasti teknisiä haasteita ja tuotantoprosessi sisältää pitkän jonon eri työvaiheita niin Tasowheel Tikan omassa tuotannossa kuin alihankinnassakin. Tähän nimikeryhmään tehdään läpimenoprosessin nykytila-analyysi. Prosessista etsitään toistuvia ongelmia ja hukka-aikoja. Lisäksi tutkitaan, voidaanko prosesseja yhtenäistää, vakinaistaa tai jollain tavoin yksinkertaistaa tai sovittaa Tasowheel Tikan muun tuotannon rytmiiin. Optimaalinen lopputulema työlle olisi sellaiset kehitysehdotukset, joiden avulla saataisiin pienennettyä nimikeryhmän läpimenoa tuotannossa.

2 TYÖN TAUSTAT

2.1 Tasowheel Tikka Oy

Tasowheel Tikka Oy on n. 30 henkilön konepajayritys ja sen toimitilat ovat Tikka-koskella Keski-Suomessa. Tasowheel Tikka on Tasowheel Systemsin ja Tasowheel Gearsin kanssa osa niiden emoyhtiötä, Tasowheel Groupia. Systemsin ja Gearsin osastot sijaitsevat Tampereella.

Toimitilat koostuvat toimiston lisäksi tuotantohallista, jossa kaikille valmistustavoille on ryhmitelty omat tilat. Hallin toinen pää on käytännöllisesti omistettu sahalle, josta myös materiaali otetaan sisään. Tämän jälkeen raaka-aineet menevät joko sahattuina aihioina, tai tankotavarana jyrshintään tai sorville. Mainittujen jyr-sinkoneiden ja sorvien osasto vie hallin tilasta miltei puolet. Tämän jälkeen vastaan tulee lähettämö, jossa tapahtuu tavaroiden pakkaus, lähetys sekä vastaanotto. Lähettämön vieressä on kokoonpanohalli, jossa työpisteet on jaettu valmistettavien tuotteiden mukaan. Lähettämöstä pääsee myös toimistupuolelle. Hallin päädyssä on hiomo, josta löytyy pyörö- ja tasohiomakoneiden lisäksi abrasiivitahnalla toimiva hoonauskone. Tasowheel Tikan valmistusmenetelmät koostuvat pääosin siis ainetta poistavista menetelmistä.

Yritys valmistaa keskisuuria metalliteollisuuden tuotteita ja käyttää niissä erilaisen terässeosten lisäksi materiaalina mm. valuaihioita sekä hankalasti työstettäviä kromi-nikkeli-seoksia. Näistä valmistetaan mm. erilaisia venttiilejä, hydraulikalohkoja ja voimansiirron osia. Moni kappale kuuluu vielä kokoonpanoon. Joillekin osille tehdään erilaisia lämpökäsittelyjä, esim. nitrauksia tai karkaisuja, ja jotkin käyvät sähkökemiallisessa pintakäsittelyssä. Eräs käsittely joudutaan tekemään Ruotsissa asti. Tuotteiden tuotantoprosessit voivat olla hyvin erilaisia. Jotkin tuote on sorvaamalla valmis, mutta toiseen tehdään usean jyrshinnän lisäksi kaksi eri lämpökäsittelyä ja hionta. Lisäksi tuote voi kuulua vielä kokoonpanoon, jossa sille tehdään esimerkiksi vuototesti. Edellä mainittu pitkä työnkulku on erittäin lähellä tässä opinnäytetyössä käsiteltävän nimikeryhmän valmistusta. Valmistusprosessien kaikenlainen erilaisuus hankaloittaa tuotannon selkeää rytmistystä. Koneiden käyttöasteet kärsivät pienistä tuotantoeristä, vaikkakin vaikutusta

on päästy pienentämään FMS-järjestelmällä ja suuremmilla koneiden työkalumakasiineilla.

Tasowheel Tikalla ei ole erityisen paljon asiakkaita. Kuitenkin ne asiakkaat, jotka sillä on, ovat suuria meri- ja kaivosteollisuuden toimijoita. Lisäksi asiakkaita löytyy muutamilta muiltakin aloilta, ja useat asiakassuhteet toimivat sopimusvalmistuksen pohjalta (Tasowheel, n.d.). Haastavatkin projektit otetaan vastaan ja erilaisia protoja on jatkuvasti pöydällä. Vaikka tämä joustavuus ja rohkeus ottaa haasteet vastaan ovatkin oleellinen osa yrityksen identiteettiä, aiheuttaa se viikoittain myös päänsäivää tuotannon ja työmenetelmien suunnitteluun. Yrityksellä ei ole suoraan sanoen varsinaista työkalua tuotannonsuunnitteluun ja suurten kokoonpanojen valmistuksen ja aikataulun hallinta on työlästä. Tiedot ovat monien klikkailujen takana. Muun muassa edellä mainitut syyt ovat usein toimitusten myöhästymisien takana.

2.2 Tuotannon ohjaus Tasowheel Tikassa

Tasowheel Tikalla on käytössä työntöohjaukseen perustuva tietojärjestelmä Powered. Powered toimii kuten MRP-järjestelmä, eli tuotantoon voidaan luoda tuotantotilauksia, joiden ei tarvitse olla sidoksissa myyntitilauksiin. Tuotantotilauksille määritetään päivämäärä, jolloin niiden pitää olla valmiina ja Powered ajoittaa työn tämän mukaan. Järjestelmä ei hälytä, vaikka työ menisi koneiden kapasiteettirajojen yli. Kuten Hopp ja Spearman toteavat, puhtaasti työntöohjautuva järjestelmä voi vapauttaa tuotantotilaukset jo tukossa olevaan kapasiteettiin, ja tuloksena työt jäävät jumiin keskelle tuotantoa (Hopp & Spearman, 2008, sivu 362). Edellä mainittu skenaario on tunnistettavissa Tasowheel Tikan tuotannossa, mutta onneksi Powered tarjoaa joitakin työkaluja sen välttämiseksi. Kapasiteettia tuleekin tarkastella erillisestä näkymästä, josta saa hyvän yleiskuvan koneiden kuormitustilanteesta, ja tätä työkalua käyttäen tuotantotilaukset saadaan ajoitettua oikeaan kapasiteettiin.

Töiden lopullinen aikataulutus ja hienokuormitus tapahtuvat työnohjaajien toimesta. Työnohjaajilla on käytössä näkymä, jossa he voivat siirtää töitä eri ko-

neille. Näkymän avulla saadaan jokaiselle koneelle oma työjärjestys. Kun työ siirretään työjonoon, sen ajoitus päivittyy myös muuhun järjestelmään, ja vasta tällöin sen kuormitus on todellinen.

Kun töiden määrä kasvaa yli kapasiteetin, muuttuu tuotannon suunnittelu todella vaikeaksi. Myöhästymisiä tulee helposti, koska usein ei niin kiireelliset työt siirretään sivuun, jotta kiireellisemmät kappaleet saadaan työnnettyä edelle. Muutaman viikon tämä kostautuu, kun syrjään siirretyt työt myöhästyvät kokoonpanosta, johon ne kuuluvat ja loppujen lopuksi koko tilaus myöhästyy. Edellä mainittu tapahtumaketju on yleisin, selkeästi havaittava seuraus Tasowheel Tikan tuotannon ylikuormittumisesta.

Nopeaa ratkaisua ongelmiin ei ole, vaan koko prosessin pitäisi muuttua tietyllä tavalla jäykemmäksi. Tuotannon suunnittelu tulisi tehdä järjestelmälle soveltuvalla tavalla; tuotantosuunnitelman tulisi aina olla kuormitettuna vapaaseen kapasiteettiin, ja sen tulisi aina vastata nykytilannetta. Myynnin tehtävänä olisi myydä vain vapaaseen kapasiteettiin, eikä tuotantosuunnitelmasta saisi poiketa. Tasowheel Tikka ei ole enää pieni, ketterä konepaja, vaan sen liikevaihto kasvaa jatkuvasti ja se tarvitsee standardoituja työtapoja ja pidempikestoisia tuotantosuunnitelmia, joista ei poiketa kiiretilauksien vuoksi. Ratkaisuna normaaliin joustotarpeeseen voisi olla esimerkiksi jo monessa yrityksessä käytössä oleva erillinen työstösolu esimerkiksi pelkkiä prototyyppkejä varten. Tällainen työstösolu ei toki tuo suoraan yritykselle rahaa, mutta antamalla joustavuutta ja mahdollisuuden kehitystyöhön, se tuo lisäarvoa pidemmällä aikavälillä.

2.3 Tutkimusongelma

Liitinkappaleet ovat jo pidemmän aikaa aiheuttaneet ongelmia, eivätkä ne ole edelleenkään sopeutuneet muun tuotannon rytmiin. Kyseessä on kuitenkin asiakkaalle tärkeä tuote, joten tuotteen valmistamisesta kieltäytyminen ei tule kysymykseen. Yrityksen suunnalta tuli siis toive, että ongelmaan on puututtava, ja selvitettävä valmistusprosessin koko laajuus. Kokonaiskuvan avulla voitaisiin sitten keskittyä tärkeimpiin ongelma-kohtiin, ja etsiä juurisyitä näiden takana. Ideaali

lopputulema olisi, että liitinkappaleet saataisiin sopeutettua muuhun Tasowheel Tikan tuotantoon. Tämän opinnäytetyön on tarkoitus tarjota ratkaisuja tähän.

Opinnäytetyö pohjautuu kahteen tutkimuskysymykseen, joihin koetetaan etsiä vastausta:

1. Mitkä ovat juurisyyt tutkittavan nimikeryhmän huonoon ja hallitsemattomaan läpimenoaikaan?
2. Millä keinoin mainitut juurisyyt voidaan poistaa ja läpimenoaikaa lyhentää?

Näiden kysymysten selvittämiseksi käytössä on opinnäytetyön tekijän oma työkokemus vuoden ajalta kyseisessä yrityksessä mm. tuotannonsuunnittelun ja alihankinnan tehtävissä. Toteutuneita läpimenoaikoja saadaan selville käytössä olevasta tietojärjestelmästä, ja ne toimivat työlle tärkeänä faktapohjana. Lisäksi selvitetään eri työntekijöiden näkökulmia tutkittavaan nimikeryhmään liittyen haastattelujen avulla.

3 LÄPIMENOAIKA

3.1 Läpimenoajan määritelmä ja taustat

Yritys määrittelee strategiassaan, millaista palvelua haluaa tuottaa asiakkailleen. Tuotantolaitoksissa valinta tehdään usein kahden asian välillä: haluaako yritys olla joustava ja nopea reagoimaan markkinoiden muutoksiin, vai haluaako yritys palvella asiakkaitaan mahdollisimman nopeasti. Valinta sijoittuu yleensä kahden ääripään välille, ja parhaassa tapauksessa voidaan valita molemmat.

Perinteisessä konepajateollisuudessa tämä pohdinta keskittyy siihen, kuinka suuria valmistavaran varastoja pidetään asiakkaita varten, vai reagoiko tuotanto vasta tilauksen myötä. Molemmissa vaihtoehtoissa on omat hyvät ja huonot puolensa, ja usein yritysten tuotanto on jotain tältä väliltä. Tänä päivänä suuntana on ollut enimmäkseen, että markkinat vaativat yrityksiltä ketteryyttä ja uudistumiskykyä. Suuret varastot ovat siinä suhteessa kirosana, ja tuotannon läpimenoaika alkaa kiinnostamaan.

Asiakas voi vaatia lyhyitäkin toimitusaikoja, ja siksi siihen tulisi pyrkiä tavalla tai toisella. Eräs mahdollisuus päästä tähän välttämällä samalla varastointikustannuksia, on tehostaa tuotantoprosesseja ja kasvattaa tuottavuutta. Toisin sanoen, lyhyen toimitusajan lisäksi lyhyt läpimenoaika on kilpailuvaltti. Läpimenoaika tarkoittaa aikaväliä tuotantotilauksen luomisesta tuotteen valmistumiseen vietynä varastoon tai lähetettynä asiakkaalle. Valmistuksen läpimenoaika sisältää prosessiajan, joka työntekijöiltä kuluu tuotteen valmistamiseksi, sekä jonotusajan, jonka aikana keskeneräinen työ tai materiaalit liikkuvat työpisteiden välillä. Poistamalla tuotantoprosessista tarkastuksia, ylimääräisiä liikkeitä ja jonotusaikoja valmistaja saa lyhennettyä tuotteiden läpimenoaikaa ja kehitettyä toimituskykyään. (Nordmeyer, n.d.)

Hopp ja Spearman (2008, 327) jakavat läpimenoajan osiin vielä yksityiskohtaisemmalla tasolla. Kun työvaiheen läpimenoa tarkastellaan yksittäisen kappaleen näkökulmasta, mutta kappaleita valmistetaan samalla kertaa useampi, koostuu jokainen valmistuserän työvaihe seuraavista komponenteista:

1. Move time (liikeaika)
2. Queue time (jonotusaika)
3. Setup time (asetusaika)
4. Process time (jalostava aika)
5. Wait-to-batch time (jalostetun kappaleen odotusaika muun erän ollessa vielä työn alla)
6. Wait-in-batch time (jalostavan ajan alettua aika, jonka yksittäinen kappale odottaa päästäkseen työn alle)
7. Wait-to-match time (aika, jonka kappale odottaa muita kokoonpanoon kuuluvia osia)

(Hopp & Spearman, 2008, 327).

Näistä ainoastaan jalostava aika on hyödyllistä aikaa valmistuksen näkökulmasta. Myös liikeaikaa tulee prosessissa aina olemaan, siirrettiinpä työpisteet kuinka lähelle toisiaan tahansa. Sen sijaan kaikki muut komponentit ovat silkkaa hukkaa, toisin sanoen arvoa tuottamatonta aikaa. Nämä ajat liitetään usein yhteen kutsuen niitä hukka-ajaksi, mutta käytännössä niiden juurisyyt ovat keskenään hyvinkin erilaiset. Siksi, että ne usein muodostavat valtavien enemmistön vaiheen läpimenoajasta, olisi ne järkevä erotella toisistaan ja identifioida jokaiselle omat, erityiset kehitystoimenpiteet. (Hopp & Spearman, 2008, 327-328)

Myynnin asiakkaalle lupaaman toimitusajan sekä tuotannon realistisen läpimenoajan tulee kohdata aina. Muutoin edessä on myöhästymisiä, muu tuotanto kärsii ja pakkopriorisointi sekoittaa tuotannon normaalia rytmitystä. Puutteellinen toimituskyvyn valvonta on perimmäinen syy toimitusepävarmuudelle (Harju, 1999, 98). Kuormitustilannetta tulisi jatkuvasti valvoa, ja päivittää järjestelmät vastaamaan tuotannon nykytilannetta. Myös yrityksen sisäisen tiedonkulun tulee olla kunnossa. Tieto tuotteen läpimenoajasta tuotannossa on oleellinen osa tuotannon suunnittelua. Tätä tietoa hyödyntävät sekä osto, että tuotannon karkea- ja hienokuormittajat. Lisäksi myös myynnin asiakkaille lupaamat toimitusajat perustuvat tähän tietoon.

3.2 Lyhyen läpimenoajan hyödyllisyys

Yritys hyötyy huippuunsa viritetystä tuotannon läpimenosta monella eri tavalla. Tärkeimpinä voidaan mainita asiakkaan tyytyväisyys lyhyisiin toimitusaikoihin sekä yrityksen kasvanut kyky reagoida ketterästi markkinoiden muutoksiin. Yrityksen ei tarvitse sitoa pääomaansa liikaa nykyisiin asiakkaisiinsa, vaan tilauskannan hyytyessä osa tuotannon kapasiteetista voidaan siirtää uusille markkinoille ilman kovin suuria tappioita. Suuren varaston pitämisessä on riskinä vanhenevat tuotteet, ja päätös pitää pienempiä varastoja pienentää tätäkin riskiä.

Lyhyen läpimenoajan avulla voidaan pitää varastot pieninä, jolloin resursseja vapautuu muihin lisäarvoa tuottaviin kohteisiin. Lisäksi läpimenoajan lyhentäminen merkitsee myös sitä, että ”prosessi on paremmin hallinnassa, jolloin läpäisyajoja lyhentämällä voidaan pienentää myös niiden vaihtelua” (Logistiikan Maailma, n.d.). Yllättävät menoerät paljastuvat, ja tehottomuutta saadaan kitkettyä pois. Ylipäättään tuotannon prosesseista tulee läpinäkyvämpiä, ja niihin on helpompi päästä käsiksi. Asiakkaan näkökulmasta positiivisia vaikutuksia ovat muun muassa lyhyt toimitusaika sekä parantunut toimitusvarmuus (Logistiikan Maailma, n.d.).

Varastojen pitäminen taas piilottaa helposti tuotannolliset ongelmat. Kun tuotannossa havaitaan ongelma, ja osa valmistuserästä voidaan joutua esimerkiksi hylkäämään, paikkaa varastot tuotantoerästä puuttuvia kappaleita. Näin ollen tieto tuotannon ongelmasta ei välttämättä edes kulkeudu tarvittaville henkilöille, ja ongelma sivuutetaan aina seuraavaan tuotantoerään saakka. Sen sijaan juuri oikeaan tarpeeseen valmistettuna tuotantoerien ongelmat huomataan heti, sillä pelkona on toimituksen myöhästyminen. Ongelmaan pystytään puuttumaan heti, ja korjaamaan se. Toisaalta jos ongelman ratkaisuun menee liikaa aikaa, on riskinä toimituksen myöhästyminen. Luotetaanko siis prosessin laatuun, vai varastoidaanko tuotteita, ja mitä tuotteita ja minkä verran? Tämä kysymys on ratkaistava yrityksen johdon kesken.

Lyhyeen toimitusaikaan pyrkiminen pakottaa yrityksen luopumaan joiltakin osin isoista, kustannustehokkaista valmistuseristä. Kaikissa tapauksissa tämä ei ole

tosin pakollista; sopimusasiakkaille valmistaminen on taattu tulonlähde. Sopimusasiakkaille myytäviä tuotteita varten kannattaa sitoa esimerkiksi tietyt tuotantokoneet, ja laskea näiden kapasiteetti pois muusta tuotannosta.

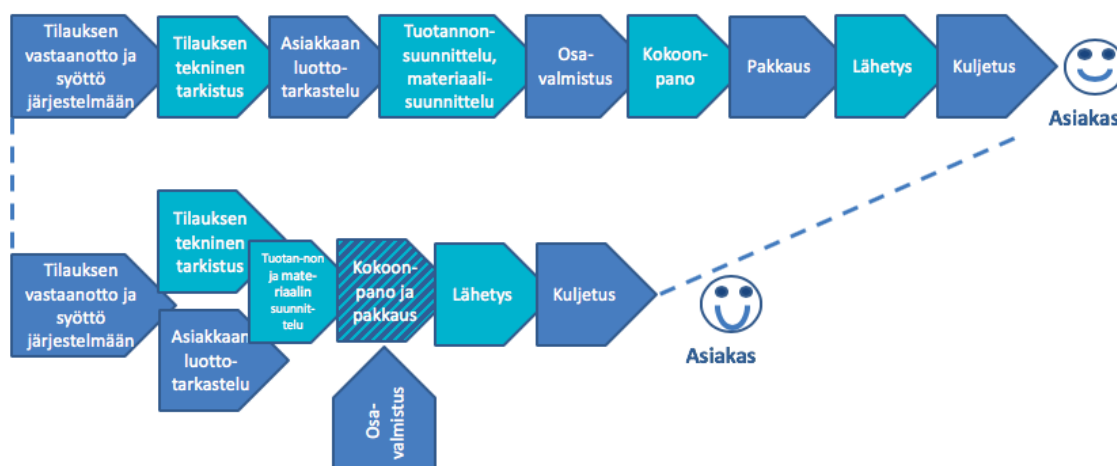
Myyntiennusteet voivat kuitenkin aina pettää, tai asiakas kohdata yllättäviä haasteita, jotka vaikuttavat suoraan omaan tuotantoon. Tilauserät saattavat yllättäen kasvaa moninkertaisiksi tai laskea puoleen, ja silloin tuotannon reagointikyky mitataan. Lyhyen läpäisyajan avulla tuotanto saadaan sopeutettua nopeasti uuteen kysyntätilanteeseen. Lyhyestä tuotannon läpimenoajasta ja siihen pyrkimisestä on siis pääosin hyötyä yritykselle kuin yritykselle, niin suoraan kuin välillisestikin.

3.3 Läpimenoajan lyhentäminen

Läpäisyajan lyhentämisen lisäksi tulee myös miettiä, voiko toimitusaikaa lyhentää. Toimitusajalla on kuitenkin paljon suurempi merkitys asiakkaan näkökulmasta. Esimerkiksi vaikeissa tapauksissa, joissa tuotantoprosessien kehittämisen jälkeenkin läpimenoaika on liian pitkä, voi olla ratkaisuna pitää välivarastoa sopivassa kohtaa tuotteen valmistuskiertoa. Tällöin asiakkaan toimitusaika lyhenee halutun verran, kun tavaraa on aina tarvittava määrä puolivalmiina.

”Läpäisyaikaa lyhentääkseen voi prosessin osia tarkastella neljästä eri näkökulmasta: voiko prosessin osia tai yksittäisiä tehtäviä poistaa kokonaan, yhdistää, nopeuttaa (esimerkiksi poistamalla odottamista tai automatisoimalla) tai tehdä rinnakkain.” Yksittäisen vaiheen tekeminen nopeammin ei ole usein järkevää, tai edes mahdollista, ja läpäisyajan nopeuttaminen koostuukin usein turhien tehtävien, työvaiheiden ja odottamisen vähentämisestä sekä automaatiosta. Esimerkiksi yrityksessä (kuvio 1) tilauksen tekninen tarkistus ja asiakkaan luottotarkastelu siirrettiin tehtäviksi rinnakkain. Tilausohjautuvasta tuotannosta siirryttiin tilauksesta kokoonpantavaan tuotantoon, sekä kokoonpano ja pakkaus yhdistettiin yhdeksi työvaiheeksi. Lopulta esimerkkiyrityksen koko toimitusajasta löydettiin potentiaalista, lyhennettävää aikaa yli viikon verran. (Logistiikan Maailma, n.d.).

Kokonaispotentiaali läpäisyajan lyhennykselle esimerkkiyrityksessä



KUVIO 1. Toimenpiteet läpäisyajan lyhentämiseksi esimerkkiyrityksessä (Logistiikan Maailma (n.d.)

Tuominen (2010, 76-85) taas lähtee Leanin oppien mukaan ratkomaan koko prosessia valitsemalla kehittämistekniikat sekä prosessi- että tehtävätasolla. Kuitenkin ennen kuin lähdetään innokkaasti ratkomaan ongelmia, tulee varmistaa, että on löydetty oikeat ongelmat (Tuominen, 2010, 76). Ensimmäinen keino on prosessin läpimenoajan lyhentäminen. Läpimenon lyhentämiseen on monenlaisia keinoja, joiden näkökulmasta prosessia kannattaa tarkastella. Näistä keinoista voidaan valita parhaita hyötyjä tuovat tekniikat, jos kaikkeen ei ole resursseja tai niitä ei ole järkevää toteuttaa.

Tekniikoista Tuominen (2010, 76-77) listaa muun muassa seuraavia: rinnakkais-ten tehtävien lisääminen, tehtävien järjestyksen muuttaminen vähentämään tuotteiden kulkua edestakaisin, ympäristön häiriöiden vähentäminen, ajoitusten parantaminen työvaiheiden välillä, tuotannon outputin sijoittaminen mahdollisimman lähelle asiakasta, mahdollisuudet muuttaa työvaiheiden suorituspaikkaa, asioiden tekeminen tärkeysjärjestyksessä sekä läpimenoajan mittaaminen huomionarvoisten asioiden löytämiseksi. Tuominen (2010, 76-77) mainitsee myös JIT-perussääntöjen noudattamisen osana läpimenoajan lyhentämistä ja lisää useassa kohtaa, että toimenpiteet kohdistetaan erityisesti läpimenon kriittiselle polulle, josta niissä on eniten hyötyä.

Muutamia muita prosessi- ja tehtävätason kehittämismahdollisuuksia ovat esimerkiksi kaksinkertaisen työn poistaminen, prosessin yksinkertaistaminen, turhan byrokratian poistaminen, ei-jalostavan työn vähentäminen, toimittajasuhteiden kehittäminen, virheiden mahdollisuuden estäminen, laitteiden, työkalujen ja ohjelmistojen kehittäminen, prosessissa tarvittavan ammattitaidon arvioiminen ja henkilöstön osaamisesta ja koulutuksesta huolehtiminen. Tuomisen ryhmä löysi esimerkkiyrityksen tuotannosta muun muassa ylimääräistä siirtelyä, odottelua, koneiden asetuksia, varastointia sekä ylimääräisten kappaleiden tekemistä. Mainittuja asioita voidaan kutsua laaduttomuuskustannuksiksi, joista asiakas ei ole valmis maksamaan. Toimittajayhteistyötä tulisi parantaa niin, että kommunikointi olisi mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista, ja toimittajalta tulisi löytyä riittävä luotettavuus, joustavuus sekä laaduntuottokyky. Lisäksi toimittajien kanssa tulisi sopia laatuksiteerit ja järkevät, yksinkertaiset toimintatavat. (Tuominen, 2010)

Lisäksi on muutamia tuotannon tukitoimintoja, joiden tulee olla kunnossa läpimenon vaihtelun hillitsemiseksi. Seuraavassa on listattu näitä;

- Tuotannon tahdistus tulee olla yhtenäinen; läpimenoprosessin peräkkäisissä työvaiheissa tulee kestää yhtä pitkän aikaa. Tahdistus tulee tehdä prosessin pullonkaulan tahtiin sopivaksi, ja tarvittavat välivarastot tulee sijoittaa juuri ennen pullonkauloja.
- Tuotannon layoutin tulee olla yrityksen nimikekatalogin mukainen; esimerkiksi laaja ja monipuolinen nimikeryhmä vaikeuttaa yksittäisen tuotteen valmistusprosessin materiaalivirtojen lyhentämistä, mutta tällöin tuotannon layoutin tulee olla mieluummin suurimmalle osalle tuotteista sopiva.
- Valmistettavista eräkoista tulee tehdä pieniä, kuitenkin huomioiden asetusajat suhteessa työaikaan. Näin minimoidaan tämän otsikkokappaleen alussa mainitut wait-to-batch time ja wait-in-batch time.
- Työpiteiden siistinä pitäminen on oltava toimintatapa ja työkalut on järjestettävä esimerkiksi 5S:n mukaan.
- Ulkopuolelta hankittavien prosessin työvaiheiden toimitusajat pitää olla selvillä, ja sovittuna toimittajan kanssa, ja niihin tulee pystyä luottamaan. Epävarma toimitus aiheuttaa usein sen, että toimitukselle varataan muuttaman päivän ”varoaika”, joka pidentää läpimenoaika.

- Koneiden toimintavarmuus tulee olla kunnossa. Koneilla on oltava vuosi-huoltosuunnitelma, jonka mukaan niiden kapasiteetti voidaan ennakoida. Yllättäviä konerikkoja voidaan näin ehkäistä, ja kaikki on suunnitelmallista.
- Koneiden asetusajoja on pyrittävä lyhentämään. Ohjelmat tulee tehdä aina etukäteen, ja koneen työkalukapasiteetin tulee riittää sillä tehtäville eri tuotteille, jottei työkalujen vaihtamiseen mene aikaa.

Mahdollisuuksia on paljon; vaikeus onkin siinä, kuinka löytää oikeat kohteet kehittämiseen. Voidaankin palata pari sivua taaksepäin ja todeta vielä kerran, että toimenpiteet olisi hyvä kohdistaa niihin kohtiin läpimenoprosessia, joissa niistä on eniten hyötyä.

3.4 Tutkimusmenetelmät

Kehitysprojektit alkavat yleensä nykytilan kartoittamisesta. Kun prosessin resurssit, toiminnot ja kesto ymmärretään, voidaan kokonaiskuvan avulla kohdistaa huomio oikeisiin kehityskohteisiin. Lisäksi kehitysprojektin tuloksia on helpompi arvioida jälkeenpäin, kun prosessin lähtötilanne on mitattu.

Tutkimusmenetelmät tulee valita sen mukaan, mihin resurssit riittävät. Jos tutkimuksen tekoon ja läpimenoon kuuluvien eri aikojen kellottamiseen ei ole varattu kokonaisia päiviä, vaan tutkimus esimerkiksi joudutaan tekemään muun työn ohessa, joudutaan tutkimusmenetelmät valitsemaan joustavuuden näkökulmasta. Tällöin käytössä oleva tietokanta määrittelee jo paljon siitä, minkälaista tietoa prosesseista ylipäätään on saatavilla. On hyvä tuntea käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmä, jotta tiedetään, minkälaista dataa siitä saadaan selville. Lisäksi järjestelmän logiikka täytyy tuntea, jotta saatua dataa osataan käsitellä oikein. Myös muun muassa haastatteluista saatava subjektiivinen tieto on tärkeää, jotta saadaan paikattua tietokantatutkimukseen jääneitä aukkoja ja täydennettyä kokonaiskuvaa.

Selvitettyä dataa tuotteiden läpimenoajoista voidaan verrata tuoterakenteelle määritellyyn tuotantoprosessin aikatauluun. Näin saadaan heti aluksi varmistus,

miten nämä korreloivat keskenään, ja oletuksen ja toteuman eroavaisuuksiin voidaan kiinnittää huomiota. Lisäksi eri työvaiheilta kirjattuja työtunteja voidaan verrata koko työvaiheeseen kuluneeseen aikaan, jotta saadaan karkeasti selville työvaiheen kokonaisodotusaika. Eri työvaiheiden odotusaikoja vertailemalla taas voidaan etsiä koko prosessista pullonkaulat. Näin saadaan selville läpimenoprosessin kriittinen polku.

Tuotannon pullonkaulojen muodostumisen syitä voidaan tutkia useilla tavoilla. Yksi keino, resurssien niin salliessa, on lähteä kellottamaan pullonkaulavaihetta. Kellotusmenetelmällä voidaan jakaa koko työvaiheen kesto arvoa tuottavaan ja arvoa tuottamattomaan aikaan. Molemmat jaetaan vielä pienempiin ajanjaksoihin ja kaikelle etsitään syy; odotusaikoja syntyy eri syistä, ja arvoa tuottavakin aika voi olla tehotonta. Kellotustutkimus tulee suorittaa usealle erälle ja kattamaan tutkittava nimikeryhmä riittävän laajasti, jotta tulokset ovat tarpeeksi luotettavat. Sen sijaan, jos tähän ei ole aikaa, voidaan pullonkaulojen ongelmiin perehtyä esimerkiksi haastatteleamalla työvaiheen suorittajaa, tai siihen sidoksissa olevaa henkilöstöä. Haastatteluissa on myös se hyvä puoli, että niissä tulee esille usein sellaista subjektiivista tietoa, jota esimerkiksi pelkällä kellotustutkimuksella ei saada selville. Haastateltavilla on todennäköisesti myös ratkaisuehdotuksia ongelmiin, sillä heillä on työvaiheesta lähin kenttätason kokemus.

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Työn eteneminen

Tutkimus toteutettiin niin, että aluksi selvitettiin työn taustat mahdollisimman hyvin. Nimikeryhmää tutkittiin aluksi tietokannan avulla, jonka jälkeen haastateltiin liitinkappaleiden läpimenoon sidoksissa olevaa henkilöstöä. Lopuksi vertailtiin näistä saatuja tietoja ja esitettiin ratkaisuehdotuksia.

Tietokannan avulla selvitettiin aluksi nimikkeet perustiedot, eli kuinka laajasta nimikeryhmästä oli kyse, ja mitä kaikkea niiden valmistamiseen liittyi. Liitinkappaleiden menekkiä ja myyntiennusteita, sekä myyntihistoriaa tutkittiin. Lisäksi selvitettiin, minkä kokoisia eriä oli valmistettu, ja oliko eri liitinkappalemallien välillä tässä hajontaa. Liitinkappaleiden läpimenoajat tutkittiin muutaman mallin osalta, ja sen avulla selvitettiin eri työvaiheisiin kuluvat ajat. Odotteita ja toteumia vertailemalla voitiin tehdä päätelmiä pullonkaulojen sijainneista.

Tutkimuksen jälkeen tehtiin haastattelut. Haastatteluiden tarkoitus oli saada kentältä käytännön mielipiteitä ja näkemyksiä liitinkappaleiden valmistukseen liittyvistä asioista, ja niiden avulla oli tarkoitus laajentaa analyysiä yksityiskohtaisemalle tasolle. Haastatteluiden myötä myös varmistettiin, että tietokantatutkimuksesta saatu näkemys liitinkappaleiden läpimeno-prosessista ja haastateltavien oma näkemys vastasivat ainakin yleisellä tasolla toisiaan. Haastatteluiden pääkohteena oli kuitenkin etsiä syitä ja ratkaisuja ongelmiin. Haastatteluissa keskityttiin henkilön omaan osaamisalueeseen aiheessa. Haastateltavat valittiin niin, että koko valmistusprosessi oli edustettuna mahdollisimman hyvin.

4.2 Resurssit

Työn resurssit ja tutkimukseen eniten vaikuttavat tekijät koostuivat pääosin kolmesta tekijästä: opinnäytetyön tekijän oma osaaminen ja tietotaito, tietojärjestelmästä saatava tieto sekä yrityksen muiden työntekijöiden kokemus ja tieto. Näitä

kolmea tekijää hyödyntäen tutkimusongelmaa pyrittiin lähestymään mahdollisimman monipuolisesti ja monesta eri näkökulmasta.

Opinnäytetyön tekijällä oli konetekniikan opinnot ja opintosuuntauksina tuotantotekniikka sekä teollisuustalous pohjana liitinkappaleiden läpimenotutkimukselle. Työn tekijällä oli lisäksi työkokemusta Tasowheel Tikassa noin vuoden ajalta erilaisista tehtävistä mm. tuotannon suunnitteluun, 5S-projektiin sekä alihankintaan liittyen. Tasowheel Tikan tuotanto oli tullut jo suhteellisen tutuksi tuona aikana.

Tasowheel Tikalla oli käytössä tietojärjestelmä Powered, jota käytettiin melkein kaikkeen tiedonsiirtoon ja tuotantoon liittyviin tukitoimiin. Lisäksi konsernin yhteisenä tietokantana toimi M-Files, johon tallennettiin kaikki työn ohessa syntyvät ja yrityksen toimintoihin liittyvät dokumentit ja ohjeet. Näiden lisäksi käytössä oli vielä PowerBI, joka lukee määrättyjä tietoja Poweredista ja luo näistä visuaalisia raportteja muun muassa myynnin, hankinnan, tuotannon ja johdon työn tueksi. Poweredissa oli paljon tarjolla tietoa, ja myös suoraan Poweredista voitiin ajaa ulos monipuolisia raportteja esimerkiksi toteutuneisiin tuotantotilauksiin liittyen. Raporttiin voitiin ajaa tiedot esimerkiksi tietyn ajanjakson aikana valmistuneista tuotantotilauksista, ja raportista selvisi muun muassa jokaisen työvaiheen aloitus- ja lopetuspäivämäärät, toteutuneet työtunnit, sekä työn ja materiaalin kustannukset. Esimerkiksi edellä mainitut tiedot olivat tärkeässä osassa tietokantatutkimuksessa.

Työn resursseihin voitiin lukea myös yrityksen työntekijät, joilta jokaiselta löytyi tärkeää tietoa liitinkappaleista heidän omaan työnkuvaansa liittyen. Kenttäkoke-
mus haluttiin myös hyödyntää tutkimuksessa, sillä se koettiin merkittäväksi tietolähteeksi yksityiskohtaisella tasolla.

4.3 Tietokantatutkimuksen toteutus

Odotusaikatutkimus tehtiin viidelle liitinkappaleelle. Valinnan ehtoina oli toimitushistoria vähintään kahden vuoden ajalta, sekä luotettavat myyntiennusteet tulevaisuuteen.

Poweredista tulostettiin tutkittaville nimikkeille raportti, josta kävi ilmi kaikkien valmistuserien työvaiheisiin kulunut aika sekä vaiheiden aloitus- ja lopetuspäivämäärät. Tutkimukseen otettiin kaikki nimikkeen valmistuserät lukuun ottamatta aivan ensimmäisiä, jottei suunnittelu-aika ja harjoituskappaleet ynnä muut uuden nimikkeen valmistuksen aloitukseen liittyvät asiat olisi vääristäneet tuloksia. Jokaisen vaiheen odotusajaksi laskettiin aika vaiheen aloituksen sekä edellisen vaiheen lopetuksen välillä, eli kuinka pitkään erä joutui odottamaan työlle pääsyä. Lopuksi jokaiselle työvaiheen odotusajalle laskettiin keskiarvo. Tuloksista haettiin toistuvuutta eri liitinkappalemallien välillä, jotta kehityskohteiden valinta olisi mahdollisimman luotettavaa.

Näin saatuihin tuloksiin jouduttiin tekemään joitakin korjauksia. Kuten edellisen otsikon alla mainittiin, valmistuseriä päätetään välillä. Tämä aiheuttaa sen, että loppuosa valmistuserää voi jäädä odottamaan kuukausiksi seuraavaa myyntiä, kun kapasiteetti ei salli valmistaa kiireettömiä töitä loppuun asti. Tämän vuoksi moninkertaisesti keskiarvoa suuremmat odotusajat poistettiin laskennasta. Tutkimus käsittää jalostavaksi työksi vain yrityksen sisällä tehdyt tunnit, ja alihankinnassa (tässä tapauksessa karkaisussa) kulunut aika käsitetään odotusajaksi. Tämä on korjattu niin, että karkaisuajasta huomioidaan keskimääräinen toimitusaika normaaliksi karkaisun työajaksi, ja vasta tämän ajan yli menevä osuus on odotusaikaa. Tuloksissa huomioitiin myös se, että tehdäänkö työvaihetta yhdessä vai kahdessa työvuorossa. Lisäksi viikonlopun vaikutus korjattiin kertomella 5/7, jolloin viikonloppu tuo tuloksiin virhemarginaalia $\pm 1,43$ päivän verran.

4.4 Haastattelun toteutus

Haastattelut järjestettiin niin, että jokaisen haastateltavan kanssa sovittiin aika-aulut yksitellen. Haastattelut äänitettiin ja niistä kirjattiin sisältö ylös omin sanoin. Haastattelut pyrittiin pitämään noin 10 minuutin mittaisina.

Haastateltavien valinnan edellytyksenä oli, että he ovat tekemisissä tutkittavan nimikeryhmän kanssa usein tai vastaavat jostakin valmistuksen osa-alueesta. Seuraavassa on taulukko 1, josta selviää haastateltavien ammattinimikkeet, sekä valintaperusteet.

TAULUKKO 1. Haastateltavat

Ammattinimike	Työnkuva ja valintaperuste
Kehityspäällikkö	Vastaa tuotteiden laadusta ja on erityisesti paininut liitinkappaleiden laatuongelmien kanssa.
Sorvauksen, kokoonpanon, hion ja lähettämön työnohjaaja	Huolehtii aikatauluista ja työjonoista. Työnohjaaja on lähin kontakti työntekijöihin ja hänellä on hyvä yleiskuva kaikesta Tasowheel Tikan tuotannosta.
Jyrsinnän työnohjaaja	Vastaa jyrsinnän työjonoista. Työnohjaajalla on näkemystä ja kokemusta liitinkappaleiden kaikista eri jyrsintävaiheista.
Jyrsijä	Tekee varsinaisen jyrsinnän ennen AFM:ia ja karkaisua.
AFM-koneen kappaleenvaihtaja	On ollut AFM-koneen käyttäjä jo usean vuoden ajan.

Yleiskuva liitinkappaleista oli jo rakentunut vuoden mittaan aika kattavaksi ja näkemykseen oli ollut vaikuttamassa paljolti esimerkiksi haastateltavien kanssa aiemmin käydyt keskustelut. Haastatteluihin pyrittiinkin löytämään sellaisia aiheita ja kysymyksiä, joista keskustelua ei ollut käyty aiemmin. Haastattelujen toivottiin tuovan esille uusia ja näkymättömämpinä pysyneitä asioita.

Haastateltavilta pyrittiin saamaan aluksi yleiskuva tilanteesta; minkälainen kappale on kyseessä ja miten he itse ovat sidoksissa kappaleen valmistukseen. Heitä pyydettiin kuvaamaan se prosessin vaihe, josta he ovat itse vastuussa. Seuraavaksi koetettiin saada selville, missä ongelmakohdat olivat heidän mielestään, ja missä kohtaa taas kaikki oli yleensä hoitunut sujuvasti. Mainituille ongelmille pyrittiin löytämään myös syyt. Lopuksi haettiin mielipiteitä ja näkemyksiä, missä kohtaa olisi parannusmahdollisuuksia, tai miten joku voitaisiin tehdä paremmin.

Haastattelujen rakenteeksi muodostuivat seuraavat kysymykset:

1. Kuvaile liitinkappaleita tuotannon näkökulmasta. Minkälainen kappale on kyseessä?
2. Mikä on oma osuutesi valmistuksessa? Mitä työvaihetta teet /valvot?
3. Oletko huomannut, että jossain kohtaa kappaleet joutuvat odottamaan seuraavaa vaihetta usein?
4. Mistä odottaminen johtuu?
5. Mitä muita ongelmia olet havainnut liitinkappaleiden tuotannossa (ainakin omassa työvaiheessasi)?
6. Mitä arvelet syiksi ongelmille?
7. Minkälaisia ratkaisuehdotuksia sinulla on odotusten ja ongelmien poistamiseksi?

5 TULOKSET

5.1 Tietokantatutkimus

Tutkittava nimikeryhmä koostuu samantyyppisistä kappaleista, joista käytetään tässä samaa nimeä 'liitinkappale'. Samantyyppisyydellä tarkoitetaan tässä sitä, että kappaleet tehdään samasta materiaalista, ne ovat samaa painoluokkaa (2-15 kg) ja niillä on kaikilla yhteinen valmistusprosessi. Valmistusprosessia kuvataan paremmin seuraavan otsikon alla, josta ilmenee myös eri työvaiheiden kesto suhteutettuna läpimenoaikaan. Liitinkappaleita on hiukan yli 20 erilaista.

Liitinkappaleet ovat oleellisia osia meriteollisuuden moottorien kokoonpanoissa, ja niitä menee vain muutamia kappaleita yhteen moottoriin. Siksi tilausmäärätkin liikkuvat yleensä yhdestä kahteen kappaleeseen. Tasowheel Tikalla normaalit tuotannon eräkoot liikkuvat yleensä 50-200 kappaleen välillä, ja liitinkappaleiden tilausmäärät poikkeavat tästä selvästi. Lisäksi niiden myyntiä on vaikea ennakoita. Nämä tekijät yhteenlaskettuna tuotannon suunnittelussa on päädytty siihen, että tuotantotilaukset on tähän asti tehty vastaamaan suoraan myyntitilauksia muun muassa eräkokojen suhteen.

5.1.1 Menekki: historia ja ennusteet

Liitinkappaleet ovat erään meriteollisuuden toimijan tuoteryhmä, joiden valmistusta Tasowheel Tikka Oy tekee alihankintana. Liitinkappaleita tilataan pääosin 1-2 kappaleen määriä, tosin sekaan mahtuu myös suurempiakin yksittäisiä tilauksia. Liitinkappaleiden valmistusmäärät pienille tilauserille on n. 2-5 kappaleen luokkaa. Koskaan valmistuserän ylimääräisiä kappaleita ei ole kuitenkaan valmistettu varastoon, vaan tuotantotilaus on jäänyt auki, ja kappaleet ovat jääneet odottamaan ruuhkaisimpien tuotantokapeikkojen kohdille.

Liitinkappaleita on valmistettu Tasowheel Tikalla jo joidenkin vuosien ajan. Aluksi kappaleita oli vain muutama, mutta vuosien mittaan nimikeryhmä on kasvanut, ja

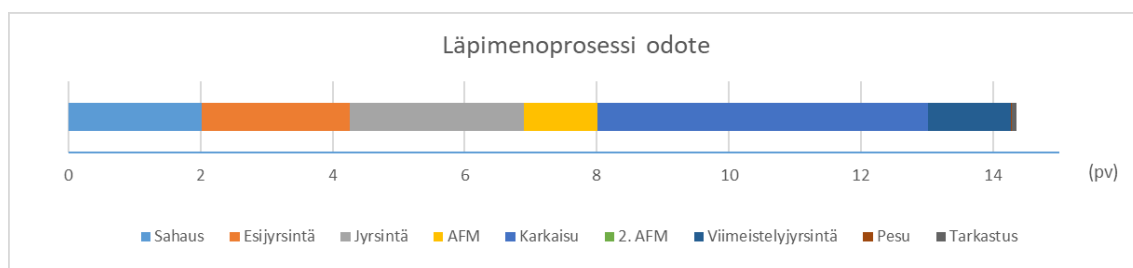
samalla vanhimpien liitinkappalemallien myynti on hyytynyt. Asiakas kehittää jatkuvasti uusia moottorimalleja erilaisilla polttoaine- ja tehoratkaisuilla, ja niihin menevät liitinkappalemallit vaihtuvat tätä mukaa. Menekki siis riippuu eri moottorimallien suosiosta. Liitinkappale on kallis valmistaa niiden vähäisestä menekistä johtuen, ja uuden liitinkappaleen tuotantoon viemisen haasteet vievät myös oman aikansa. Vaikka kappaleissa on koko- ja muotoeroja, niin niissä on kuitenkin paljon samoja komponentteja. Uudessa liitinkappaleessa on aina jotain uutta, mutta valmistusmenetelmien kehitystä ei kuitenkaan tarvitse aloittaa ihan alusta.

Asiakas lähettää Tasowheel Tikalle kuukauden välein ennusteen omista ostotarpeistaan. Esimerkiksi vuodenvaihteessa 2018-2019 seuraavalle vuodelle oli ennustettu noin 9 eri liitinkappalemallille tarvetta, ja mallikohtaiset kappalemäärät vaihtelivat 3 ja 60 välillä, pääosin kuitenkin välillä 3-15kpl. Vuosimenekki ei siis suurimmalle osalle malleista ole kovin suuri. Ennusteet ovat kohtuullisen hyvin pitäneet paikkansa, muutamia tarveaikataulujen siirtoja lukuun ottamatta. Tähän asti Tasowheel Tikalla ollaan esimerkiksi voitu suurentaa tuotannon eräkokoja ennusteiden perusteella. On myös huomioitava, minkä liitinkappalemallien kehittämiseen jatkossa keskitytään. Asiakas kilpailee laivan moottorien valmistuksessa kansainvälisillä markkinoilla, ja esiintyy edukseen päästöjen ja tehokkuuden näkökulmasta. Asiakkaalta tulevia signaaleja kannattaa kuunnella, ja keskittää resurssit niihin liitinkappalemalleihin, joiden kysyntä näyttää olevan vakaata tai kasvavaa.

Eräkokojen suurentaminen tulee tarpeen, sillä valmistuksen ongelmista johtuen asiakas on esittänyt vaatimuksen, että jatkossa jokaisesta liitinkappalemallin valmistuserästä halkaistaan AFM-prosessin jälkeen yksi kappale. Halkaistu kappale mitataan, ja tällä tavalla saadaan koko muu erä hyväksyttyä. Halkaistu kappale on tämän jälkeen käyttökelvoton, ja siksi kasvattaa muun erän valmistuskustannuksia. Kustannukset jakautuvat lopun erän kesken, ja mitä suurempi erä on, sitä pienempi kustannus kohdistuu yksittäiselle kappaleelle. Esimerkiksi kahden ja kahdentoista kappaleen erän välillä ero on suuri, kun laskee kappaleen halkaisusta niille jakautuvaa kustannusta. Tähän asti tuotantoerät ovat olleet suhteellisen pieniä, mutta vaatimuksen myötä tuotantoeriä on kasvatettava.

5.1.2 Läpimenoprosessi

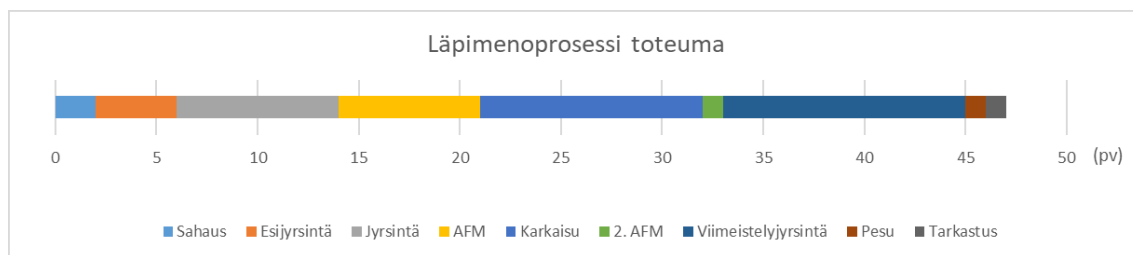
Kuviossa 2 on erään liitinkappaleen läpimenoprosessi, joka odotusarvoisesti kestää 14-15 arkipäivää. Kyseinen prosessi on sama miltei kaikilla nimikeryhmän kappaleilla, vaikka pientä vaihtelua toki on, riippuen kappaleen monimutkaisuudesta ja vaativuudesta.



KUVIO 2. Odotusarvoinen läpimenoprosessi

Työ alkaa sahauksesta oikeaan pituusmittaan. Seuraavana on aihoiden esijyrsintä, sillä raaka-aine on pyörötankoa. Tämän jälkeen tehdään varsinainen jyrsintä viimeistelyvaroilte. Kappale menee hoonaukseen, toisin sanoen AFM-työvaiheeseen, jossa kappaleen sisäosien pyöritykset hiotaan ajamalla abrasiivitaahnaa korkeapaineakanavien läpi. Tämän jälkeen liitinkappale lähtee alihankintaan vakuumihiiletyskarkaisuun. Karkaisu tehdään vakuumiuunissa, jossa ei tarvita suojakaasuja, vaan puhtaudesta huolehtii vakuumiolosuhteet, eli tyhjiö. Karkaisun jälkeen kappaleelle tehdään vielä nopea AFM-prosessi, josta kappale lähtee viimeistelyjyrsintään. Lopuksi on vielä pesu ja tarkastus.

Sen sijaan saman liitinkappalemallin läpimenon toteuma on noin kolminkertainen odotteeseen verrattuna, kuten kuviosta 3 näkyy. Toteuma on laskettu liitinkappaleenimikkeen rakenteen siirtoajoista ja työajoista ja siihen on lisätty vuosien 2016-2019 aikana valmistuneiden tuotantotilauksien keskimääräiset vaiheiden odotusajat. Lopuksi lukemat on pyöristetty päivän tarkkuuteen visuaalisuuden vuoksi.



KUVIO 3. Toteutunut läpimenoprosessi

Sahausvaiheen odote ja toteuma vastaavat toisiaan. Myöskin esijyrsinnästä odote ja toteuma ovat lähellä toisiaan, vaikkakin yhden lisäpäivän erolla. Sen sijaan jyrsintävaiheen toteuma kasvaa kahdesta päivästä jopa kahdeksaan päivään. AFM-työvaiheen suorittamiseen taas on laskettu vain päivän verran työaikaa, mutta toteuma on seitsemän päivää. Karkaisuun kuluvan viiden päivän odote kasvaa 11 päivään. Sen sijaan karkaisun jälkeinen AFM-työvaihe ei vie yhtä päivää kauempaa, sillä prosessi on nopea. Kaksi päivää oletetusti vievä viimeistelyjyrsintä taas kasvaa kymmenellä lisäpäivällä 12 päivään. Sen jälkeen pesu ja tarkastus suoritetaan suhteellisen odotetusti parin päivän sisään. Suurimmat suhteelliset läpimenoajan kasvut olivat siis järjestyksessä lueteltuna ensimmäisessä AFM-työvaiheessa, viimeistelyjyrsinnässä ja varsinaisessa jyrsinnässä.

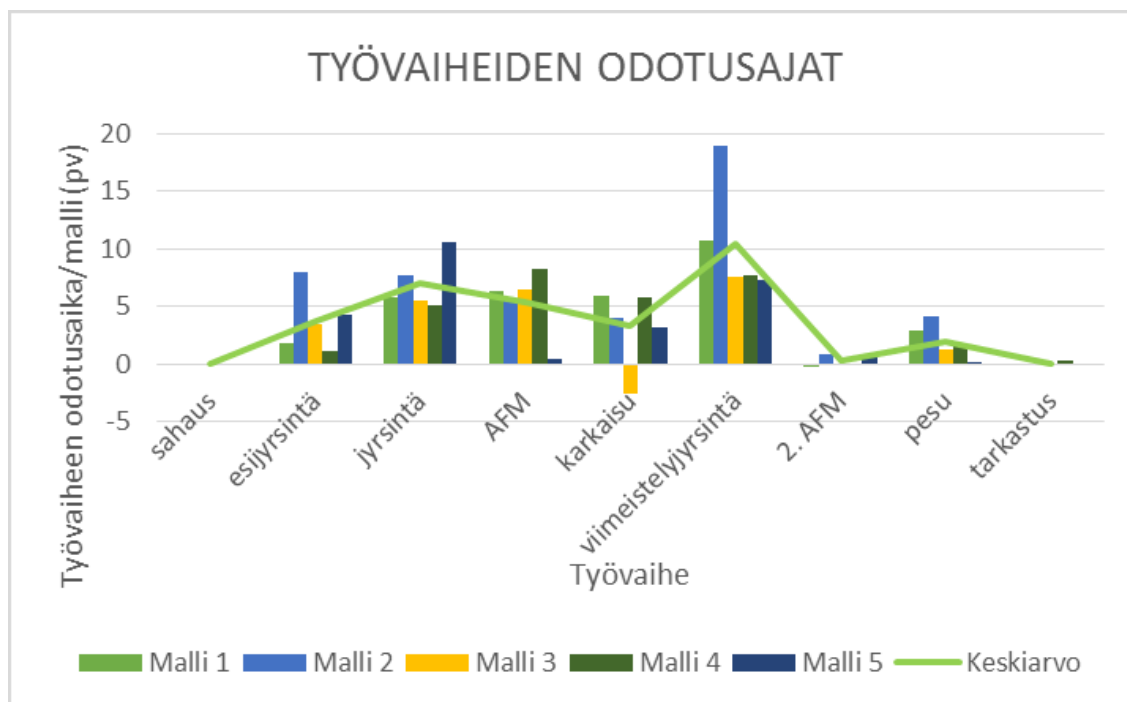
Epätarkkuutta toteumaan aiheuttaa se, että tuotantoeriä usein pilkotaan osiin, kun ei ole aikaa tehdä koko sarjaa valmiiksi kerralla. Puolet kappaleista voivat siis jäädä odottamaan esimerkiksi AFM-työvaihetta tai jyrsintää pitkäksi aikaa, jos niiden seuraava myyntitilaus on kauempana tulevaisuudessa. Tarve erän pilkkomiseen johtuu kuitenkin siitä, että sen hetkinen työvaihe on prosessin pullonkaula, tai yksi niistä. Työvaiheen kapasiteetti on siis rajallinen tarpeeseen nähden, ja tehtävät työt ja kappalemäärät joudutaan valitsemaan tarkkaan. Läpäisyprosessien toteumien perusteella voidaan paikantaa tällaiset pullonkaulat, kun ne ovat selkeästi suuremmat kuin odotteessa, samalla suhteutettuna kuitenkin muiden työvaiheiden työajan kasvuun. Tuotannonohjaus vaihtuu siis usein kesken matkan työntöohjauksesta imuohjaukseen. Tämä tapahtuu siinä vaiheessa, kun huomataan, ettei valmistuserää saada työntöohjaamalla valmiiksi asti ajoissa.

5.1.3 Odotusaika

Viideltä eri liitinkappalemallilta tutkittiin tarkemmin odotusajat työvaiheittain. Jokaiselle mallille haettiin tuotantohistoria vuoden 2018 loppuun asti lukuun ottamatta ensimmäisiä tuotantotilauksia. Tuotantoprosessin jokaiselle työvaiheelle laskettiin keskimääräinen odotusaika, ja tämä toimenpide tehtiin jokaiselle liitinkappalemallille yksitellen.

Odotusaika on se aika, jolle tuotantotilaukselle ei ole merkitty työajan kirjauksia. Työaika on se aika, jonka työntekijä kokee tekevänsä töitä valmistettavan kappaleen suhteen. Tämän voidaan ajatella koostuvan varsinaisen valmistusajan lisäksi asetusajoista, sekä ajasta, jonka kappaleet joutuvat odottamaan muun erän valmistumista. Odotusaikaa syntyy siis kaikesta muusta ajasta, jota ei lueta työajaksi, esimerkiksi liikeajasta ja jonotusajasta, jolloin valmistettavan kappaleen suhteen ei tehdä töitä.

Kuviossa 4 näkyy eri työvaiheiden odotusajat, eriteltynä liitinkappalemallin mukaan. Nämä odotusajat ovat viitenä erivärisinä pylväinä, ja pylväiden korkeuden, eli työvaiheen odotusajan keston päivinä, voi lukea vasemmalla olevasta pystyakselista. Työvaiheet ovat taulukossa normaalissa liitinkappaleen valmistusprosessin etenemisjärjestyksessä. Kuvioon on myös lisätty vaaleanvihreä ”keskiarvo”-apuviiva helpottamaan kaavion tarkastelua. Viivan korkeus jokaisen työvaiheen kohdalla kertoo liitinkappalemallien kesken keskiarvoisen odotusajan kyseisessä työvaiheessa.



KUVIO 4. Työvaiheiden odotusajat viidellä eri liitinkappalemallilla

Kuviosta voidaan huomata, että suurimmat huiput odotusajoissa kohdistuvat jyrsintään, AFM-prosessiin ja viimeistelyjyrsintään. Muissa vaiheissa taas ei ole havaittavissa selkeää yhdenmukaisuutta odotusajoissa, tai odotusaikojen keskiarvo ei ole kovin suuri. Sen sijaan mainitut kolme vaihetta näyttävät pylväiden perusteella aiheuttavan säännönmukaisesti odotusta. Jostain syystä kappaleet joutuvat odottamaan pääsyä koneelle näissä työvaiheissa. Usein kappaleiden koe- taankin olevan niin sanotusti valmiita viimeistelyjyrsinnän jälkeen, sillä viimeiset kolme työvaihetta saadaan suoritettua yleensä kiireellisesti saman päivän aikana. Kolmen hitaimman työvaiheen odotusaikojen keskiarvot ovat 5-10 työpäivän tienoilla, mikä on aivan liikaa. Näin pitkää aikaa ei voida selittää enää huonolla tuotannosuunnittelulla tai sattumalla, vaan takana on oltava muutakin, joko valmistusteknisiä, kapasiteettiin liittyviä, tai muita ongelmia.

5.2 Haastattelut

Haastattelujen yhteenvedot löytyvät liitteestä 1. Haastattelut on jäsennelty samaan järjestykseen kuin kysymyksetkin, jotta samaan kysymykseen saatuja vastauksia olisi helppo vertailla keskenään. Seuraavassa käydään läpi kaikkien

haastateltavien henkilöiden vastaukset aina kysymys kerrallaan ensimmäisestä viimeiseen.

Useimpien haastateltavien mielestä liitinkappaleet olivat ulkonäöltään selkeitä, suhteellisen yksinkertaisia, kantikkaita kappaleita. Moni kuitenkin nosti esiin tuotannon haasteita laadun osalta, sekä mainitsi muutamia normaalista poikkeavia työvaiheita, mm. AFM-hiontaprosessin sisäkanavien muodoille sekä vakuumihiiletyskarkaisun, joka on normaalia hiiletyskarkaisua laadukkaampi ja kalliimpi lämpökäsittely.

Haastateltavien työtehtävät kattoivat kohtuullisen laajasti koko liitinkappaleiden työkierron. Muun muassa koneistus, AFM-prosessi, sekä työnohjaus oli edustettuina, eli varsinaisten työntekijöiden kokemusten lisäksi löytyi näkemystä koko tuotantoprosessin hallinnasta ja aikataulutuksesta. Erilaisia laadullisia haasteita tuli ilmi koko läpimenoprosessin matkalta, ja näkemykset tukivat toisiaan. Edustamattomia työvaiheita oli sahaus ja karkaisu, joita ei ollut kuitenkaan järkevää ottaa mukaan haastatteluun.

Melkein kaikki haastateltavat näkivät AFM-työvaiheen läpimenoprosessin pullonkaulana. Suurin osa vastanneista arveli viimeistelyjyrsinnän olevan toiseksi hitain työvaihe. Kehitettävää nähtiin myös ennen karkaisua tehtävässä varsinaisessa koneistusvaiheessa. Kaikilla ei ollut näkemystä siitä, missä kappaleet joutuivat odottamaan seuraavaa työvaihetta.

Odotuksen syyksi AFM-työvaiheessa nähtiin yksimielisesti kapasiteetin puute sekä työvaiheen hitaus. Erilaisia syitä työvaiheen hitauteen ilmeni, mm. se, että sama kappale joudutaan ajamaan kahdella eri abrasiivitahnalla ja tahnanvaihtoon kuluu aikaa. Vaihe joudutaan tekemään tämän vuoksi erissä, eikä yksittäisinä kappaleina. Eräs näkemys oli, että kapasiteettia tulisi olla yli kaksinkertaisesti, sillä vaiheelle tulee tuotantotavaraa kahdelta eri työstökeskukselta, ja kappaleaika on AFM-vaiheessa miltei aina pidempi kuin koneistusvaiheessa. Viimeistelyjyrsinnässä hitautta nähtiin aiheuttavan korkeapaineliitöntöjen työstö. Kyseistä koneistusvaihetta tehdään tällä hetkellä yhdessä vuorossa, vaikka töitä riittäisi pääsääntöisesti kahteen vuoroon.

Eri ihmiset näkivät ja painottivat hiukan erilaisia ongelmia liitinkappaleiden tuotannossa. Usein oman työvaiheen ongelmat nähtiin selkeimmin, mutta muutamat asiat toistuivat eri henkilöiden haastatteluissa. Toistuvia asioita oli mm. sisämuotojen pyöristysten toteutuminen, sisäreikien pinnanlaatu ja kartiomuotojen pinnanlaatu, ja nämä ongelmat kohdistuivat kahteen mainittuun pullonkaulavaiheeseen, eli AFM-prosessiin ja viimeistelyjyrsintään. Useimmat haastateltavat kokivat, että ongelmat ovat nyt hallinnassa, mutta työvaihe on edelleen hidas ja suhteellisen vaikea. Esimerkiksi pyöristysten toteutukseksi joudutaan mittausta varten halkaisemaan yksi kappale jokaisesta valmistuserästä, mikä on kallista. Koneistuksen osalta laadulliset ongelmat on pääosin ratkaistu, mutta samalla on kuitenkin jouduttu hidastamaan työvaihetta. Myös AFM-prosessissa nähtiin pyöristyksien toteutumisen takana erilaisia ongelmia. Abrasiivitahnan vanhetessa myös sen teho huononi, eikä sen käyttäminen ollut enää niin hallittua, kuin uudella tahnalla. Lisäksi lisäjäähdyttimen hankinnasta huolimatta tahna voi kuumentua, kun AFM-konetta käytetään kovemmalla teholla. Tällöin sitä voidaan joutua jäähdyttelemään kesken ajon.

Syyksi AFM-prosessin ongelmille nähtiin muun muassa se, että itse työmenetelmä ei ole tarpeeksi tehokas tarvittavaan aineenpoistoon, vaan se sopii parhaiten kevyempään hiontaan ja kiillotukseen. Tahnan ylikuumenemisen syyksi taas arveltiin edelleen puutteellista jäähdytysjärjestelmää. Lisäksi ongelmana nähtiin, että aikanaan AFM-menetelmän käyttömahdollisuuksien ja toiminnan ymmärtämiseksi ei ole saatu tarpeeksi tukea toimittajalta, eikä omaa osaamista ole ollut. Lisäksi vaadittujen pyöristysten koko on ajan mittaan kasvanut, eikä AFM-prosessin teho ja henkilöstön osaaminen ole enää riittäneet uusiin vaatimuksiin. Eri liitinkappaleilla on eri kokoisia hiottavia sisäreikiä, ja abrasiivitahna käyttäytyy eri tavalla eri kokoisissa sisäkanavissa. Tämä on myös aiheuttanut haasteita. Yleisesti ottaen liitinkappaleiden haastavimmat laatuvaatimukset nähtiin olevan hankalissa paikoissa. Viimeistelyjyrsinnän osalta hitauden syyksi nähtiin, että kone ei ole tarpeeksi tukeva, ja kartiomuodot joudutaan ajamaan siksi kahteen kertaan. Lisäksi jyrsintään ei ole löydetty vielä sopivia työkaluja, vaikka jatkuvaa kehitystyötä on tehty. Eräs haastateltava koki, että varsinaisessa jyrsinnässä ennen karkaisua sisäreikien pinnanlaadun työmenetelmä on edelleen huono; kanuunaporralla koneistettaessa reikää, koneen jäähdytyspumpun teho ei riitä poistamaan lastua reiästä.

Erilaisia ratkaisuehdotuksia eri vaiheisiin oli paljon. Huomioitavaa oli kuitenkin, että niitä ratkottaisiin oikeassa järjestyksessä suurimpien hyötyjen saavuttamiseksi. Hankitun AFM-koneen uskottiin tuovat merkittävää helpotusta työvaiheen ruuhkaan. Uusi kone olisi lisäksi tehokkaampi, sillä olisi helpompi hallita abrasiivitahnan käyttäytymistä, ja jäähdytys toimisi automaattisesti. Mahdollisuutena nähtiin myös erilaisten abrasiivitahnojen kokeilu eri toimittajilta; eri käyttötarkoituksiin voitaisiin löytää juuri sopivat tahnat. Toimittajilta toivottiin enemmän tukea ja yhteistyötä prosessin hallintaan. Lisäksi ilmeni toive, että varsinaisessa koneistuksessa tehtäisiin jatkossakin apuviiste helpottamaan sisäosien pyöristysten muodostumista abrasiivihionnassa.

Joiltakin haastateltavilta tuli ehdotus, että viimeistelyjyrsintää voisi hajauttaa eri koneille joustavuuden lisäämiseksi. Lisäksi ehdotettiin, että työ siirrettäisiin tukevammille, työhön paremmin soveltuville koneille. Ongelmana nähtiin, että parhaiden soveltuvien koneiden kapasiteetti oli jo varattu muille töille, joten tulevan hallinlaajennuksen toivottiin tuovan lisäkapasiteettia liitinkappaleiden koneistukseen. Nähtiin myös, että sopivien työkalujen etsintää ja kokeilua tulisi jatkaa. Kun työ saataisiin sujumaan, voitaisiin työvaihetta alkaa tekemään yön aikana automaattiajona ja näin lisätä kapasiteettia.

Varsinaisen jyrsinnän osalta ratkaisuehdotuksena oli hankkia uusi leikkuunestepumppu. Sisäreikien poraus kanuunaporalla oli muutoin todettu parhaaksi vaihtoehdoksi, ainoastaan vaadittaisi tehokkaampaa lastunpoistoa, joka voisi ratketa tehokkaammalla pumpulla. Vasta sitten, kun sisäreikien pinnoista saataisiin tasalaatuisia, voitaisiin hyödyntää työvaihetta varten valmistettu useimmille liitinkappalemalleille soveltuva kiinnitystorni. Työvaiheen laaduntuottokyky tulisi siis saada erinomaiselle tasolle, jonka jälkeen voitaisiin ottaa käyttöön automatisoinnin hyödyt.

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Tulosten yhteenveto

Tietokantatutkimuksen perusteella saatiin selville kolme prosessin pullonkaulaa: jysrintä, AFM-työvaihe ja viimeistelyjysrintä. Toteutuneiden odotusaikojen perusteella viimeistelyjysrintä oli suurin pullonkaula näistä kolmesta. Haastattelussa tuli myös esille samat kolme valmistuksen työvaihetta, kun kysyttiin valmistusprosessin ongelmia ja odotuksia. Tosin haastatteluissa painottui suurimpana pullonkaulana viimeistelyjysrintän sijaan AFM-työvaihe. Yleisesti ottaen voitiin kuitenkin katsoa tuloksien korreloivan keskenään jossain määrin, mutta lähemmin tarkasteltuna ongelma-alueiden painotukset poikkesivat jonkin verran toisistaan.

Haastatteluissa tuli kaikista kolmesta vaiheesta esiin paljon käytännön ongelmia. Ongelmat liittyivät monesti teknisiin asioihin; usein työvaihe jouduttiin tekemään hitaasti sen vuoksi, että laadusta voitiin olla varmoja. Usein olosuhteet, työkalut, kone tai osaaminen nähtiin puutteellisina tai epäsopivina. Tästä johtuen laaduntuottokyky ei ollut tasaista, ja se jouduttiin kompensoimaan jatkuvalla tarkistelulla, mittailulla ja varmistelulla. Edellä mainittujen elementtien voidaan katsoa hidastavan työvaiheen suorittamista, sillä työn hitaus ja eri syistä johtuvat lisätyöt vaativat ylimääräistä kapasiteettia sekä koneilta että työntekijöiltä.

6.2 Kehitysehdotukset

Tilanne on tällä hetkellä sellainen, että AFM-prosessin kapasiteettia kaksinkertaistamaan on hankittu uusi AFM-kone. Koneen käyttöönotto on kumminkin vielä kesken, ja siksi vaikutuksia liitinkappaleiden tuotantoon voidaan vasta spekuloida. Sitä ei voida tietää, purkaako uusi kone kokonaan ylikuormituksen, mutta ainakin se kaksinkertaistaa AFM-solun läpimenon. Tämän skenaarion seurauksia pohditaan seuraavaksi.

Edellinen vaihe liitinkappaleiden läpimenoprosessissa ennen AFM-työvaihetta on jysrintä. Jysrintä katsottiin haastatteluissa kolmanneksi hitaimmaksi työvaiheeksi,

ja siinä nähtiin teknisiä ongelmia. Jos jyrinnästä vaaditaan parempaa läpimenoa, voitaisiin tähän ratkaisuna esittää uuden, tehokkaamman leikkuunestepumpun hankintaa. Ylipäättään uusi pumppu voisi tehostaa muidenkin koneella tehtävien töiden valmistusta, ja siksi hankinnan hyödyt kannattaisi punnita tarkkaan. Toisaalta liitinkappaleiden kannalta hankinta ei ole tarvejärjestyksessä ensimmäisiä; AFM-työvaiheelle tulee tuotantotavaraa yhteensä noin kahdelta eri työstökoneelta, joten uuden AFM-kapasiteetin kyky vastata läpimenon vaatimuksiin voisi olla jotakuinkin tasapainossa.

Kun AFM-vaiheelta katsoo tuotantoprosessia eteenpäin, tulee vastaan seuraava karkaisu. Miltei kaikille AFM-solulla valmistettaville kappaleille tehdään vaakuumihiiletyskarkaisu, ja tällöin karkaisuun lähtisi tavaraa kaksi kertaa nopeammin. Yksi karkaisuerä maksaa paljon, ja siksi karkaisuun tulisi saada mahdollisimman täysi uunillinen. Täyden erän kokoamiseen kulunut odotusaika on tähän mennessä ollut noin 2-5 työpäivää, mutta uuden koneen myötä karkaisuerä voitaisiin saada kasaan jo 1-3 päivässä. Tällöin erän muodostuksen sykli aika nopeutuu, mikä nopeuttaa saman verran myös koko läpimenoaika. Tähän asti vaakuumihiiletyskarkaisuun kuluva ajassa ei ole tullut kovin pitkiä, yllättäviä viiveitä, ja välillä erä on päässyt suoraan käsittelyyn ilman jonotusta alihankkijalla. Voidaan siis odottaa, ettei merkittäviä ongelmia tule jatkossakaan alihankkijan kapasiteetin osalta.

Seuraavana prosessissa on vastassa viimeistelyjyrsintä, joka oli tutkimuksessa kahden hitaimman vaiheen joukossa. Kun AFM-vaiheen läpimeno kasvaa kaksinkertaiseksi, niin myös viimeistelyjyrsintään tulee tavaraa tuplateholla. Haastatteluissa esitettiin työvaiheen tehostamiseksi monia ratkaisuehdotuksia. Työ voidaan hajauttaa useammille eri koneille, jotta työ voidaan suorittaa sillä, jonka kapasiteettiin se parhaiten mahtuu. Laaduntuottokyvyn ja tehokkuuden parantamiseksi työ voitaisiin myös siirtää tukevammalle koneelle. Jos tämä ei ole mahdollista, tai sitten lisätoimenpiteenä, olisi hyvä jatkaa edelleen kehitystyötä sopivien työkalujen etsinnässä. Kun laadulliset ongelmat olisi ratkaistu, voitaisiin työ siirtää automaattijoon suoritettavaksi yön aikana, ja näin kasvattaa kapasiteettia. Uuden hallin valmistumisen mukanaan tuomat kapasiteettimahdollisuudet ovat vasta tulevaisuuden ratkaisu, ja sen varaan ei kannata laskea, kun kapasi-

teen tarpeella on kiire. Hallin aikanaan valmistuessa, se voi tuoda merkittävästikin lisäkapasiteettia, ja sinne voidaan hankkia juuri tarpeisiin sopivat koneet. Parhaassa tapauksessa kaikkia edellä mainittuja ratkaisuja voitaisiin soveltaa keskenään; työ hajautetaan eri koneille joustavuuden tai kapasiteetin lisäämiseksi tarpeen mukaan, työvaiheen työkalupuolta kehitetään nykyisellä koneella mahdollinen automaattiajo tähtäimenä, sekä hallin valmistuttua hankitaan sopiva kone liitinkappaleiden viimeistelyjyrsintään kapasiteetin merkittäväksi lisäämiseksi.

AFM-työvaiheen osalta olisi järkevää jatkaa yhteistyötä koneen toimittajan kanssa, sillä menetelmästä on vielä paljon opittavaa, ja prosessin mahdollisuudet ja rajoitteet erilaisiin töihin on edelleen hiukan hämärän peitossa. Yksi mahdollisuus olisi selvittää, voisiko koneen toimittajayritys järjestää jonkin koulutuksen aiheesta. Myös erilaisten abrasiivitahnojen käyttöä niille sopiviin tarkoituksiin on opeteltu, ja tätä aluetta voitaisiin edelleen kehittää. Nykyään AFM-työhön on laadittu selkeä työohjeistus jokaiselle liitinkappalemallille, mikä on hyvä asia. Laadun ja osaamisen tulee olla varmaa.

Sopivat eräkoot ovat sen sijaan haasteellisempi asia muun muassa pienien tilausmäärien ja jokaisesta valmistuserästä halkaistavan ja mitattavan kappaleen vuoksi. Miltei kaikkien työvaiheiden puolesta olisi järkevää, että valmistuserät olisivat vähintään kymmenen kappaleen kokoisia. AFM-vaiheen hitauden vuoksi taas eräkoon ei tulisi mainitusta kymmenestä kappaleesta enää kovasti kasvaa, sillä muutoin työvaiheen sykli aika kasvaa liiaksi ja kappaleet joutuvat odottamaan muun erän valmistusta useita päiviä. Usein tilanne on sellainen, että asiakkaan tilausmäärä saattaa olla vain yhden kappaleen verran, ja asiakkaan ennusteen mukaan tulevan vuoden aikana tarvittaisiin lisäksi vain neljä kappaletta. Tässä tapauksessa voisi olla järkevää valmistaa kerralla kaikki viisi kappaletta, vaikka riskinä on ennusteiden sulaminen ja ylituotanto. Erä koko jää edelleen pieneksi, mutta voisi olla järkevämpää ottaa ylituotannon riski, kuin hyväksyä työn aloituskustannusten kohdentuminen vain muutamalle kappaleelle.

Yksi mahdollisuus olisi pyytää asiakasta vastaavissa tapauksissa tekemään kerralla koko vuoden tilaukset kotiinkutsuperiaatteella. Näin koko erä voitaisiin valmistaa kerralla ilman riskiä, eikä valmistus ruuhkauttaisi tuotantoa niin paljon verraten siihen, että sama määrä valmistettaisiin pienemmissä erissä.

Liitinkappaleissa voisi myös ottaa käyttöön yhtenäisen tuotannonohjaustavan, jossa luotettaisiin asiakkaan ennusteisiin. Malli voisi olla esimerkiksi seuraava:

1. ensisijaisesti valmistetaan koko vuoden tarpeet kerralla
2. optimaalinen valmistuserä voisi olla 7-14kpl, jolloin halkaisusta aiheutuva lisäkustannus/kpl olisi noin 7-14%, eikä erän suuruus tukkisi muuta tuotantoa
3. kun tilausmäärä + vuoden ennusteet ylittävät 14kpl, valmistuserä on edelleen max. 14kpl
4. kun tilausmäärä + vuoden ennusteet alittavat 7kpl, valmistuserä on tilausmäärä + vuoden ennusteet.

Mallia voidaan muokata sopivaksi sen mukaan, millaiset kappalekohtaiset lisäkustannukset hyväksytään, ja mihin riskit halutaan sijoittaa. Jatkuva ennusteiden tarkistelu aiheuttaa toki työtä, mutta tähän kuluva aika kompensoituu reilusti tuotannossa.

Jos liitinkappaleiden läpimenoa halutaan tutkia lisää, voitaisiin seuraavaksi kelloittaa hitaimpia työvaiheita. Näin kriittisimmistä läpimenon vaiheista saisi tarkemman kuvan, ja niihin voitaisiin pureutua syvemmin. Kellotuksen avulla voisi selvittää asioita, joita itse työntekijä ei koe ongelmaksi, mutta joiden kehittämisessä voisi kuitenkin olla potentiaalia.

6.3 Pohdinta

Enemmän olisi voinut selvittää, onko tutkimuksen toteutukseen olemassa soveltuvaa tieteellisesti hyväksi havaittua menetelmää. Laajan kirjallisuustutkimuksen myötä olisi voinut selvittää jokin tieteellisempi standardimalli, jonka mukaan oltaisi voitu edetä. Tällöin oltaisi voitu nojata siihen, että ainakin tutkimus oli tehty järkevästi, ja käytettyjen menetelmien hyödyt ja haitat olisivat olleet tiedossa. Pienemmän etsimisen jälkeen sopivaa menetelmää ei kuitenkaan löytynyt, ja perusteltua

oli myös valita menetelmät saatavilla olevien resurssien perusteella. Jos menetelmä ei ollutkaan paras mahdollinen, niin haastattelujen avulla tuloksia saatiin täydennettyä, tai varmistettua, että ne pitivät paikkansa. Haastattelujen avulla saatiin paikattua suuri subjektiivisen infon aukko, ja sitä kautta saatiin merkittävästi muutoin piilossa olevaa tietoa esiin.

Työn edetessä vastaan tuli myös monia haasteita. Aihepiiri oli vaikea; läpimenoaikaan liittyi paljon huomioon otettavia asioita, ja nimikeryhmän vaativuus aiheutti omat haasteensa. Moni läpimenoaikaan liittyvä asia jäi työssä käsitellyksi vain teoriapohjalta; niihin ei riittänyt resursseja panostaa. Työssä koetettiin keskittyä havaittuihin ongelmiin, jotka käytetyillä menetelmillä painottuivat teknisiin haasteisiin.

Alun perin tarkoitus oli tutkia eräiden venttiilien läpimenoaikaa. Työnantajan pyynnöstä nimikeryhmä vaihtui haastavampiin liitinkappaleisiin, vaikka läpimenoaika aiheena säilyikin. Liitinkappaleiden laatu oli asiakkaalle oleellisen tärkeä, ja kuitenkin niiden valmistuksessa oli ollut haasteita alusta alkaen. Kun yksi ongelma oli saatu ratkaistua, oli ilmennyt kaksi uutta ongelmaa ja niin edelleen. Kehitystyö oli jatkuvaa, ja siksi oli haasteellista lähteä tekemään opinnäytetyötä aiheesta, joka ei ollut kokonaan omalla vastuulla. Jatkuvasti tuli koettaa pysyä ajan tasalla, mitä kehitysaskelia otettiin muiden toimesta jopa opinnäytetyön tekemisen aikana. Tutkimuskohteen valinnassa olisi kannattanut pyrkiä sellaisiin olosuhteisiin, että koko rajattu vastuualue olisi voitu antaa opinnäytetyön tekijälle. Tällöin tekijä pysyisi tietoisena kaikesta, mitä projektin sisällä tapahtuu ja pystyisi ohjailemaan projektia hyväksi näkemällään tavalla.

Tämän opinnäytetyön myötä Tasowheel Tikalla on käytössään koostettu ja tiivistetty selostus liitinkappaleiden tuotannosta koko historian ajalta aina nykypäivään saakka. Opinnäytetyössä on yritetty saada selville kaikki liitinkappaleisiin liittyvät asiat sen loppukäyttökohteesta valmistuksen työkiertoon. Kaikki aiheeseen liittyvät ongelmat on koitettu tuoda esiin, olivat ne ratkaistuja tai eivät. Työ antaa laajan yleisnäkemyksen liitinkappaleiden koko valmistusprosessista, sekä pureutuu myös tarkemmin kriittisiin työvaiheisiin. Tämän avulla voidaan aluksi valita kehityskohteet kokonaisuudesta, ja sen jälkeen lähteä kehittämään niitä esimerkiksi työssä tarjottujen ratkaisuehdotusten avulla. Yrityksellä on opinnäytetyön

myötä käytössään analyysi sen haastavimmasta nimikeryhmästä, sekä lisäksi laaja skaala parannusehdotuksia eri työvaiheisiin. Yritys voi työn avulla päättää seuraavat kehitysaskleet, olivat ne sitten lisätutkimusta tai käytännön parannuksia prosessiin.

LÄHTEET

Harju, P. 1999. Kvalitatiivinen kyvykkyys: Massaräätälöinnin periaatteet ja menetelmät. Helsinki: Tietosanoma Oy.

Hopp, Wallace J. & Spearman, Mark L. 2008. Factory Physics. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Kuntsi, H. jrsijä. 2019. Haastattelu 16.8.2019. Haastattelija Venla Hyytinen. Tikkakoski.

Logistiikan Maailma. N.d. Läpäisyajan lyhentäminen. Luettu 21.8.2019.
<http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lapaisyajan-lyhentaminen/>

Nordmeyer, B. N.d. Throughput Time vs. Lead Time. Luettu 21.8.2019.
<https://smallbusiness.chron.com/throughput-time-vs-lead-time-81687.html>

Porttila, M. AFM-koneen kappaleenvaihtaja. 2019. Haastattelu 2.8.2019. Haastattelija Venla Hyytinen. Tikkakoski.

Rautiainen, T. kehityspäällikkö. 2019. Haastattelu 24.7.2019. Haastattelija Venla Hyytinen. Tikkakoski.

Tapper, T. sorvauksen, kokoonpanon, lähettämön ja hiomon työnohjaaja. 2019. Haastattelu 1.8.2019. Haastattelija Venla Hyytinen. Tikkakoski.

Tasowheel Tikka Oy. N.d. Contract-manufacturing. Luettu 29.8.2019.
<https://www.tasowheel.fi/tasowheel-tikka/contract-manufacturing/>

Toivio, K. jrsinnän työnohjaaja. 2019. Haastattelu 19.7.2019. Haastattelija Venla Hyytinen. Tikkakoski.

Tuominen, K. 2010. Lean – kohti täydellisyyttä. Helsinki: Readme.fi Oy

LIITTEET

Liite 1. Yhteenvedot haastatteluista

Haastatteluiden muistiinpanot

1 (5)

Kimmo Toivio, jysynnän työnohjaaja

19.7.2019

1. Liitinkappaleet ovat muodoltaan yksinkertaisia, suorakulmaisia kappaleita. Vaaditut pinnanlaadut sen sijaan aiheuttavat haasteita.
2. Henkilö on jysyntäosaston työnohjaaja ja vastaa työnkulusta ja aikatauluista siltä osin. Henkilö on tehnyt myös sahatun aihion esijysyntää varsinasta koneistusta varten, karkaistun kappaleen viimeistelyjysyntää, sekä kokoonpanossa kappaleiden korkeapaineakanavien painetestausta.
3. Kappaleet odottavat usein pääsyä pastaukseen. Viimeistelyjysynnän työ-koneilla on usein ruuhkaa töistä, mutta liitinkappaleet ovat yleensä väkisin ohittaneet työjonot tultuaan karkaisusta. Tämä työvaihe on luultavasti pastauksen jälkeen seuraava pullonkaula.
4. Odotus ennen abrasiivihionnan työvaihetta johtuu liian pienestä kapasiteetista.
5. Liitinkappaleiden kartiomuotojen viimeistelyjysyntä on vaikeaa ja hidasta.
6. Viimeistelyjysyntä tehdään M4800:lla, jolla kartiomuodot joudutaan ajamaan kahteen kertaan, sillä kone ei ole tarpeeksi tukeva.
7. Hiomoon on tulossa uusi abrasiivihiontakone, joka lisää kyseisen vaiheen kapasiteettia. Viimeistelyjysyntää on ajateltu valmistaa myös Niigatalalla, sillä kyseessä on 'järeämpi' kone. Niigatalta pitäisi pystyä kuitenkin siirtämään muita töitä pois, jotta liitinkappaleiden viimeistelyjysyntä voitaisiin siirtää sille. Hallinlaajennuksen toivotaan tuovan lisäkapasiteettia ja sopivampia koneita jysyntää varten.

Tommi Rautiainen, kehityspäällikkö

24.7.2019

1. Liitinkappaleet ovat kantikkaita, yksinkertaisia koneistettavia kappaleita. Normaalista poikkeavia työvaiheita ovat hionta abrasiivitahnalla (AFM= abrasive flow machining) sekä vakuumihiiletyskarkaisu. Mainittu lämpökäsittely on muutoin normaali hiiletyskarkaisu, mutta se tehdään tyhjiössä saavuttaen puhtaampi ja laadukkaampi tulos.
2. Henkilö kehittää hiontapastalla tehtävien pyöristysten laatua ja työmenetelmää korkeapaineakanavien risteyskohdissa. Tällä hetkellä kehittää liitinkappaleiden tuotannonohjausta eräkohtaisten valmistusmäärien näkökulmasta.

3. Ensimmäiset vaiheet menevät 'nätisti' läpi, mutta pullonkaula tulee vastaan AFM-vaiheessa. Yhden korkeapainekanavan pastaus kestää n. tunnin, ja työvaiheen keston saa kertomalla tunnin aina kyseessä olevan liitinkappaleen korkeapainekanavien määrällä. Pastalta koetetaan saada aina mahdollisimman iso määrä kappaleita kerrallaan vakuumihiiletyskarkaisuun, sillä käsittely on kallis. Tästä aiheutuu, että peräkkäin muodostuu kaksi työvaihetta, jotka ruuhkauttavat toinen toistaan. Jos edellä mainitut työvaiheet saataisiin sujumaan, niin seuraavaksi pullonkaulaksi muodostuisi viimeistelyjyrsintä.
4. AFM-prosessin tahtiaika on muuta tuotantoa reilusti hitaampi, ja yhden kappaleen tekeminen kestää kauan. Käytännössä kahdelta työstökoneelta tulee työt yhdelle AFM-koneelle, eli AFM-prosessin kapasiteettia pitäisi olla vähintään kaksin kerroin.
5. Merkittävin ongelma on sisäosien pyöristysten toteutuminen. Sen lisäksi korkeapainekanavien pinnanlaadussa on välillä ollut ongelmia, mutta ne on pääosin saatu selvitettyä ja työmenetelmät niiden työstöön on standardoitu. Myös kartioiden pinnanlaadun kanssa on ollut ongelmia AFM-prosessissa.
6. Pyöristysongelmaan liittyen aluksi ei edes tiedetty kuinka AFM toimii käytännössä ja minkälaisia muotoja sillä voi työstää. Vaadittu pyöristys on ollut aluksi 0,2mm, josta pyöristyksen suuruus on sitten ajan saatossa kasvanut, eikä AFM-prosessin teho ole enää riittänyt uusiin vaatimuksiin. Lisäksi eri liitinkappaleissa on erikokoisia kanavia, joissa sama pasta käyttäytyy eri tavoilla. Yleisesti ottaen liitinkappaleen haastavimmat laatuvaatimukset ovat hankalissa paikoissa, yleensä sisäosissa, joissa niitä on vaikea työstää, nähdä, mitata tai ylipäänsä päästä käsiksi.
7. Uusi pastakone voisi tuoda helpotuksen AFM-prosessin kapasiteettiongelmiin. Uudella pastakoneella on enemmän mahdollisuuksia seurata lämpötiloja ja hallita pastan käyttäytymistä. Nykyään käytössä on myös useita erilaisia pastoja, joilla on eri ominaisuuksia, ja kokeilujen myötä löydetty entistä tehokkaampia pastoja. Pastan käyttöön kuitenkin tarvittaisiin vielä enemmän toimittajan ohjeita ja teknistä tukea. Jos AFM-prosessi saadaan toimimaan, niin seuraavana kehitysaskeleena voisi olla viimeistelyjyrsinnän hajauttaminen useammille koneille, jottei siitä muodostuisi pullonkaulaa.

Terho Tapper, sorvauksen, kokoonpanon, lähettämön ja hiomon työnohjaaja

1.8.2019

1. Liitinkappale on haastava kappale, joka vaatii monta työvaihetta. Kappaleissa on vaativia pintoja ja tarkkoja toleransseja. Työvaiheista helpoin on ensimmäinen varsinainen koneistus.
2. Työnohjaajana on huolehdittava, että kappaleet pysyvät toimitusaikatauluissaan, tehtävä työntekijöitä varten työjonot ja vastattava siitä, että kappaleet kulkevat viiveettä työvaiheesta toiseen.

3. Pahin pullonkaula on AFM-työvaihe. Seuraavaksi hitain vaihe on viimeistelyjyrsintä karkaisun jälkeen.
4. Pastaus on jo yksinään hidas työvaihe, mutta sen lisäksi yhden koneen kapasiteetti on aivan liian pieni työstettävään tavaramäärään nähden. Viimeistelyjyrsinnässä mm. korkeapaineliitännän ajo on hidas vaihe. Eri liitinkappaleissa korkeapaineliitännöjä voi olla yksi tai useampi. Vaihetta tehdään tällä hetkellä yhdessä vuorossa työvoiman puutteen vuoksi, vaikka töitä riittäisi pääsääntöisesti kahteen vuoroon.
5. Pastausvaiheessa tehtävien sisäkanavien pyöristysten todentaminen on haastavaa; ainoa keino on halkaista jokaisesta valmistuserästä yksi kappale ja tarkastetaan se. Lisäksi kovajyrsinnän hitaus on ongelma.
6. Kappaleen sisämuodot ovat yksinkertaisesti haastavia; halkaistun kappaleen mittausta parempaa menetelmää pyöristysten tarkastamiseen ei ole. Itse abrasiivihionta työstömenetelmänä on myös aika tehoton käyttötarkoitukseensa. Kovajyrsintään taas ei ole löytynyt vielä juuri sopivia työkaluja.
7. Kovajyrsinnässä on kehitysmahdollisuuksia; uusia työkaluja on etsitty ja kokeiltu, ja työkalutoimittajiin on pidetty yhteyttä ja sieltä haettu apua. Tilanne sen osalta kehittyy jatkuvasti. Myös automaattiajoa yön aikana pidetään mahdollisena vaihtoehtona. Pastalle on tulossa uusi kone lisäämään kapasiteettia, ja sen toivotaan riittävän pastavaiheen hitauden ratkaisuksi.

Markku Porttila, AFM-koneen kappaleenvaihtaja

2.8.2019

1. Näkemystä löytyy vain AFM-työvaiheesta, ei sen laajemmin liitinkappaleiden tuotannosta. Liitinkappaleissa on jonkin verran eroa työajoissa; jos pyöristettäviä sisäkulmia on useissa eri kanavissa, joutuu pastaa ajamaan kappaleen läpi myös useamman kerran. Joillekin kappaleille riittää yksi ajo molemmista suunnista, ja työläimpiä joutuu ajamaan neljän eri kanavan läpi, jokaista molempiin suuntiin. Työaika vaihtelee välillä 4kpl/15min – 1kpl/6h.
2. Henkilö työskentelee Abrasive Flow Machining -työstömenetelmän kappaleenvaihtajana.
3. Liitinkappaleet joutuvat odottamaan usein pastalle pääsyä.
4. Odottaminen johtuu siitä, että kappaleet joudutaan ajamaan kahdella eri pastalla, ja pastan vaihtoon kuluu aikaa. Kappaleet ajetaan ensin a-pastalla, sitten b-pastalla, ja a-pasta on näistä löysempää.

5. Sisäpyöritysten muodostuminen ei ole aina varmaa ja hallittua, sillä pastat 'vanhenevat', eli hiovat abrasiivirakeet hioutuvat itse tehottomamiksi. Uudella pastalla ei kuitenkaan ole ongelmia, vaan hankaluuksia on yleensä vanhemman pastan kanssa. Aikoinaan myös koneen kuumeneminen on ollut ongelmana, mutta lisjäähdyttimen asennuksen jälkeen tästä ongelmasta on päästy eroon. Sen sijaan kovemmalla teholla käytettynä kone kuumentaa myös läpiajettavaa pastaa, jonka jäähtyminen taas aiheuttaa nykyisin jonkin verran odotusta.
6. Syy epävarmaan pyörityksen muodostumiseen voisi olla se, että abrasiivihionta ei ole tarpeeksi tehokas työstömenetelmä näin suureen aineenpoistoon. Abrasiivihionta sopii paremmin esimerkiksi kevyempään hiontaan ja kiillotukseen. Pastan lämpenemisen syy taas voisi olla puutteellinen jäähdytysjärjestelmä.
7. Apuviiste olisi hyvä tehdä jysintävaiheessa pyörityksiä varten, jotta pastausvaiheessa ei jouduttaisi poistamaan niin paljon ainetta. Uuden, tehokkaamman pastakoneen hankinta on hyvä asia, sillä sen pitäisi kasvattaa kapasiteettia yli kaksinkertaiseksi. Uudessa pastakoneessa on myös automaattinen jäähdytys, joten työtä ei tarvitsisi keskeyttää enää jäähdytystä varten. Pastan käyttöikää ollaan myös saatu jatkettua sekoittamalla joukkoon uudempaa pastaa. Lisäksi varovainen arvio on, että Saksasta ostettu pasta on parempaa kuin Yhdysvalloista ostettu.

Hannu Kuntsi, jysijä

16.8.2019

1. Liitinkappaleet ovat on ulkomuodoltaan aika normaaleja ja sopivia koneistettaviksi.
2. Työvaiheena on ns. 'pehmeävaihe' eli varsinainen koneistus ennen hiontaa ja karkaisua.
3. Oman työvaiheen, eli pehmeävaiheen koneistuksen läpäisy aika on kohdalainen, muttei kuitenkaan hyvä. Kehitysmahdollisuuksia kyllä olisi, vaikka vaihe ei olekaan työvaiheista hitaimmasta päästä.
4. Oman työvaiheen hitaus johtuu ongelmista, joita kuvataan seuraavissa kysymyksissä.
5. Koneistusvaiheessa on ollut ja on edelleen vaikeuksia saavuttaa sisäosien reikien hyvä pinnanlaatu. Reikiä koneistetaan tällä hetkellä kanuunaporalla. Myöskään sisämuotojen kulmien pyörityksistä ei ole aina saatu piirustusten mukaisia.
6. Pinnanlaadun ongelmat sisäosien rei'issä johtuvat siitä, että työkoneen jäähdytyspumpun teho ei riitä kanuunaporaukseen ja työtä joutuu valvoa. Pumppu suihkuttaa jäähdytysnestettä karan läpi kohdistuen suihkun kappaleen työstettävään pintaan, mutta teho ei riitä poistamaan lastua kunollisesti reiästä. Sisämuotojen pyöritysongelma liittyy abrasiivihionnan vaiheeseen.

7. Koneistukseen on suunniteltu ja valmistettu uusi kiinnitystorni, joka sopii useimmille liitinkappalemalleille. Ensin olisi kuitenkin ratkaistava työstöön liittyvät haasteet mm. kanuunaporauksessa, sillä muutoin työvaihetta joudutaan edelleen valvomaan eikä automatiikan hyötyjä saada edelleenkään käyttöön. Sopivien työkalujen etsiminen olisi ensimmäisiä asioita, millä työvaihetta voisi kehittää. Porausta varten voitaisiin hankkia uusi leikkuunestepumppu, jonka teho ja paine riittäisivät työstöön.